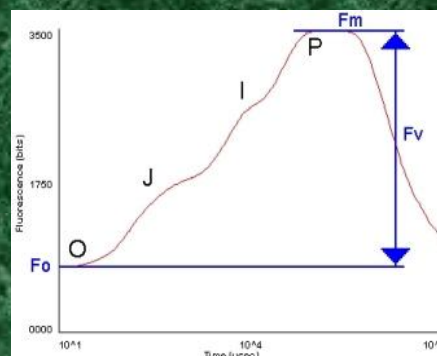


ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΟΠΙΟΥ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΠΙΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΟΛΓΑ ΝΑΣΤΑ

«Επίδραση της εφαρμογής μικροσταγονιδίων διαλύματος υψηλής αλατότητας στη φωτοσυνθετική δραστηριότητα φυτών *Nerium oleander* και *Salvia officinalis*»



ΑΘΗΝΑ 2013

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΟΠΙΟΥ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΠΙΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

«Επίδραση της εφαρμογής μικροσταγονιδίων διαλύματος υψηλής αλατότητας
στη φωτοσυνθετική δραστηριότητα φυτών *Nerium oleander* και *Salvia
officinalis*»

ΟΛΓΑ ΝΑΣΤΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: Α. ΑΚΟΥΜΙΑΝΑΚΗ-ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ Επικ. Καθηγήτρια

ΜΕΛΗ: Γ. ΛΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Λέκτορας

Μ. ΠΑΠΑΦΩΤΙΟΥ Αναπ. Καθηγήτρια

ΑΘΗΝΑ 2013

Ευχαριστίες

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου, του τμήματος Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Θα ήθελα να εκφράσω τις πιο θερμές μου ευχαριστίες στην επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, κα Α. Ακουμιανάκη-Ιωαννίδου, Επικ. Καθηγήτρια του Εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου για την ανάθεση του θέματος αυτής της μελέτης, την επιστημονική της καθοδήγηση, την ουσιαστική συμπαράσταση, εμπιστοσύνη και συνεργασία καθ όλη τη διάρκεια του πειραματικού μέρους και της συγγραφής της μελέτης μου.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον κ. Γ. Λιακόπουλο, Λέκτορα του Εργαστηρίου Φυσιολογίας και Μορφολογίας Φυτών για την καθοριστική βοήθειά του κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων και για τις πολύτιμες οδηγίες του κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά την κα Μ. Παπαφωτίου, Αναπλ. Καθηγήτρια-Δ/ντρια του Εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου για το χρόνο που αφιέρωσε στην ανάγνωση και εξέταση της παρούσας μελέτης.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη του Εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου, Δρ. Κ. Μπερτσουκλή και Ν. Ντούλα, για το ενδιαφέρον που μου έδειξαν και τη βοήθεια που μου παρείχαν καθ όλη την πορεία του πειράματος. Φυσικά, δε μπορώ να παραλείψω να ευχαριστήσω τη Δρ. Μ. Νικολοπούλου, η οποία μου πρόσφερε συνεχή στήριξη σε πρακτικά θέματα που αφορούσαν στη διενέργεια του πειράματος.

Τέλος, οφείλω ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου για την αμέριστη κατανόηση, συμπαράσταση, ψυχολογική και οικονομική υποστήριξη που μου προσέφεραν από την αρχή του μεταπτυχιακού προγράμματος.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	6
Abstract	8
A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	11
1. Αυτοφυή και ενδημικά φυτικά είδη και η χρήση τους στην κηποτεχνία	11
1.1. Γενικά	11
1.2. Χαρακτηριστικά και ιδιότητες αυτοφυών ειδών	12
2. Τοπία και κήποι παραθαλάσσιων περιοχών	14
3. Φυτικό υλικό	17
3.1. <i>Salvia officinalis</i>	17
3.2. <i>Nerium oleander</i>	20
4. Άμυνα των φυτών.....	23
4.1. Γενικά	23
4.2. Αβιοτικές καταπονήσεις, στρατηγικές και μηχανισμοί αντιμετώπισης τους	24
5. Η αλατότητα ως παράγοντας καταπόνησης	26
5.1. Καταπόνηση από αλατότητα	27
5.2. Στρατηγικές αντιμετώπισης της καταπόνησης των φυτών από αλατότητα	28
5.3. Η καταπόνηση από αλατότητα επιφέρει τροποποιήσεις σε μορφολογικό και φυσιολογικό επίπεδο	29
5.3.1. Μορφολογικές τροποποιήσεις.....	30
5.3.2. Φυσιολογικές τροποποιήσεις.....	31
5.4. Μηχανισμοί ανθεκτικότητας και προσαρμογής των φυτών στην αλατότητα	33
6. Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index, LAI).....	36
7. Φωτοσύνθεση.....	37
7.1. Η σημασία της φωτοσύνθεσης	37
7.2. Η φυσιολογία της φωτοσύνθεσης.....	38
7.3. Η σημασία του φθορισμού της χλωροφύλλης a στη μελέτη της φωτοσύνθεσης	39
7.4. Μελέτη των φωτοσυνθετικών παραμέτρων μέσω της <i>in vivo</i> τεχνικής φθορισμομετρίας της χλωροφύλλης.....	41
7.5. Ο μηχανισμός της ανταλλαγής των αερίων. Είσοδος CO ₂ , διαδικασία διαπνοής και στοματική αγωγιμότητα	44
8. Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας	45
9. Σκοπός μελέτης	49
B. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	51
1. Φυτικό υλικό	51

2. Φυτοδοχεία.....	51
3. Υπόστρωμα ανάπτυξης	52
4. Επεμβάσεις – Επαναλήψεις.....	53
5. Άρδευση	55
6. Λίπανση.....	55
7. Περιβαλλοντικές συνθήκες ανάπτυξης των φυτών	56
7.1. Θερμοκρασία περιβάλλοντος	56
8. Μετρήσεις.....	56
8.1. Βιομετρικά χαρακτηριστικά.....	56
8.1.1. Ύψος.....	56
8.1.2. Μέτρηση φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index, LAI)	57
8.2. Φωτοσυνθετικές παράμετροι.....	58
8.2.1. Φυσιολογικοί δείκτες.....	58
8.2.2. Φωτοσυνθετική ταχύτητα και παράμετροι ανταλλαγής αερίων	60
8.2.3. Συγκέντρωση χλωροφυλλών	62
8.3. Μορφολογικές και ανατομικές παράμετροι	63
8.3.1. Πάχος φύλλου (LT)	63
8.3.2. Σχετική περιεκτικότητα σε νερό του φύλλου (RWC)	63
Γ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	64
1. <i>Salvia officinalis</i> (Φασκόμηλο).....	64
1.1. Μορφολογικές παράμετροι - Βιομετρικά χαρακτηριστικά	64
1.1.1. Μεταβολή ύψους.....	64
1.1.2. Μέτρηση δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index, LAI)	65
1.1.3. Μέτρηση πάχους φύλλου (LT).....	66
1.1.4. Μέτρηση σχετικής περιεκτικότητας σε νερό του φύλλου (RWC)	66
1.2. Αξιολόγηση φυσιολογικών δεικτών ανάπτυξης φυτών.....	67
1.3. Φωτοσυνθετικές παράμετροι.....	83
1.3.1. Συγκέντρωση χλωροφυλλών	83
1.3.2. Μετρήσεις παραμέτρων φωτοσύνθεσης.....	86
2. <i>Nerium oleander</i> (Πικροδάφνη).....	94
2.1. Μορφολογικές παράμετροι - Βιομετρικά χαρακτηριστικά	94
2.1.1. Μεταβολή ύψους.....	94
2.1.2. Μέτρηση δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index, LAI)	95
2.1.3. Μέτρηση πάχους φύλλου (LT).....	96
2.1.4. Μέτρηση σχετικής περιεκτικότητας σε νερό του φύλλου (RWC)	96
2.2. Αξιολόγηση φυσιολογικών δεικτών ανάπτυξης φυτών.....	97

2.3. Φωτοσυνθετικές παράμετροι.....	106
2.3.1. Συγκέντρωση χλωροφυλλών	106
2.3.2. Μετρήσεις παραμέτρων φωτοσύνθεσης.....	108
Δ. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	113
Ε. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	124
ΣΤ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	130
ΤΕΥΧΟΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ	130

Περίληψη

Στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκε η επίδραση της εφαρμογής ψεκασμού με μικροσταγονίδια διαλύματος υψηλής αλατότητας στην ανάπτυξη και τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών *Nerium oleander* και *Salvia officinalis* σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας.

Το πείραμα διεξήχθη στο Εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου και διήρκησε 6 μήνες. Έρριζα μοσχεύματα των φυτών *Nerium oleander* και *Salvia officinalis* μεταφυτεύτηκαν το Μάιο του 2012, σε γλάστρες 4 l, σε υπόστρωμα τύρφη/περλίτη (1:1 v/v). Τα φυτά δέχθηκαν εφαρμογές ψεκασμού με μικροσταγονίδια δύο διαλυμάτων υψηλής αλατότητας διαφορετικής σύνθεσης, A: 410 mM NaCl και B: 410 mM NaCl+420 μM H₃BO₃. Κάθε διάλυμα εφαρμόστηκε σε δύο συχνότητες, μία και δύο φορές την εβδομάδα, ενώ η σύγκριση έγινε με μάρτυρες (χωρίς ψεκασμό με απιονισμένο H₂O) και μάρτυρες που δέχθηκαν ψεκασμό με απιονισμένο H₂O. Οι συγκεντρώσεις τόσο του NaCl όσο και του H₃BO₃ ήταν αυτές του θαλασσινού νερού. Για κάθε διάλυμα και συχνότητα εφαρμογής έγιναν πέντε επαναλήψεις.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος, η ανάπτυξη των φυτών *Nerium oleander* και *Salvia officinalis* αξιολογήθηκε μετρώντας το ύψος, το δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI), το πάχος των φύλλων (LT), τη σχετική περιεκτικότητα σε νερό (RWC), τις φωτοχημικές παραμέτρους του φωτοσυστήματος II (Φ_{PSII}, ETR, qN, qP, NPQ Φ_{PSIIo}) και τις παραμέτρους ανταλλαγής αερίων (A, g_s και E). Όλες οι φωτοσυνθετικές παράμετροι μετρήθηκαν με τη διεξαγωγή καμπυλών απόκρισης στο φως. Επίσης, προσδιορίστηκε η συγκέντρωση των χλωροφυλλών (Chl_(a+b)) των φύλλων που μετρήθηκαν. Στο τέλος του πειράματος, συσχετίστηκαν όλες οι παράμετροι.

Στόχοι της μελέτης ήταν: α) η αξιολόγηση της επίδρασης της αλατότητας στα βιομετρικά χαρακτηριστικά ανάπτυξης καθώς και τις φυσιολογικές παραμέτρους των φυτών β) η διερεύνηση της δυνατότητας εγκατάστασης και της ανάπτυξης των φυτών *Nerium oleander* και *Salvia officinalis* σε παραθαλάσσιες περιοχές γ) η αξιολόγηση της επίδρασης του H₃BO₃, το οποίο, παρότι βρίσκεται στο θαλασσινό νερό σε υψηλή συγκέντρωση, σχεδόν ποτέ δεν συμπεριλαμβάνεται στα τεχνητά διαλύματα τα οποία προσομοιώνουν το θαλασσινό νερό σε πειράματα επίδρασης αλατότητας.

Και τα δύο είδη που μελετήθηκαν εμφάνισαν διαφορετική συμπεριφορά στις διάφορες επεμβάσεις. Ειδικότερα για τα φυτά *Nerium oleander*, τα διαλύματα αλατότητας δεν επέδρασαν στην ανάπτυξη των φυτών κατά τη δυσμενή περίοδο (μέσα καλοκαιριού) και τα φυτά ανταπεξήλθαν πολύ καλά από την καταπόνηση που δέχθηκαν. Οι φωτοσυνθετικές παράμετροι βρέθηκαν σε πλήρη συμφωνία με τη μακροσκοπική εικόνα των φυτών και τις παραμέτρους ανάπτυξης, δίνοντας υψηλές τιμές της φωτοχημικής απόδοσης του φωτοσυστήματος II (Φ_{PSII}), του ρυθμού μεταφοράς των ηλεκτρονίων (ETR) και της θεμελιώδους φωτοχημικής ικανότητας του PSII (Φ_{PSIIo}) σε όλες τις μεταχειρήσεις. Συνεπώς, το *Nerium oleander* συμπεριφέρεται ως φυτό με ανθεκτικότητα στον παράγοντα της αλατότητας, και ως εκ τούτου κατάλληλο για φυτεύσεις σε παραθαλάσσια μέρη.

Ως προς το είδος *Salvia officinalis*, τα αποτελέσματα ήταν διαφορετικά. Το διάλυμα NaCl (A) είχε αρνητική επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών. Ως προς τα βιομετρικά χαρακτηριστικά των φυτών, η εφαρμογή ψεκασμών με διάλυμα NaCl σε συχνότητα 2φ./εβδ. έδωσε τις χαμηλότερες τιμές ύψους των φυτών στο τέλος του πειράματος (μετρήσεις Σεπτεμβρίου) και χαμηλές τιμές των βασικών φυσιολογικών παραμέτρων (χαμηλή φωτοσυνθετική ταχύτητα, Φ_{PSII} , ETR). Επίσης, κατά τη δυσμενή περίοδο του καλοκαιριού, η καταπόνηση των φυτών στις μεταχειρίσεις με συχνότητα εφαρμογής 2φ./εβδ. ήταν ιδιαίτερα μεγάλη (συστροφές φύλλων, περιφερειακή ξήρανση, σημειακά εγκαύματα, φυλλόπτωση). Ωστόσο, στο τέλος της δυσμενούς περιόδου και σε όλα τα φυτά, παρατηρήθηκε ότι το είδος *Salvia officinalis* ανακάμπτει από την καταπόνηση του καλοκαιριού. Η προσθήκη H_3BO_3 στο διάλυμα του NaCl είχε ως αποτέλεσμα την άμβλυνση της καταπόνησης από αλατότητα και στις δύο συχνότητες εφαρμογής. Η άμβλυνση αυτή ήταν μεγαλύτερη στην αρχή του πειράματος (μετρήσεις Ιουνίου). Συμπεραίνεται λοιπόν ότι το *Salvia officinalis* είναι ευαίσθητο φυτό στον παράγοντα της αλατότητας και συνεπώς καθίσταται ακατάλληλο για φυτεύσεις σε παραθαλάσσιες περιοχές.

Abstract

This study examined the effect of salt spray in the growth and photosynthetic activity of plants *Nerium oleander* and *Salvia officinalis* in outdoor growing conditions.

The experiment took place in the Laboratory of Floriculture and Architecture of Landscape and lasted 6 months. Rooted cuttings of *Nerium oleander* and *Salvia officinalis* were planted on May 2012, in plastic pots 4 l, containing growth substrate peat/perlite (1:1 v/v). The plants were sprayed with two aqueous solutions of high salinity of different composition, A: 410 mM NaCl and B: 410 mM NaCl+420 μ M H₃BO₃. Each solution was applied in two frequencies, once and twice per week, while the comparison was done with control plants (without deionized H₂O spray) and control plants which were sprayed with deionized H₂O. The concentrations both NaCl and H₃BO₃ were that of seawater. Five repetitions (pots) were performed for each solution and application frequency.

During the experiment, the growth of plants *Nerium oleander* and *Salvia officinalis* was evaluated by measuring the growth in height, the leaf area index (LAI), the leaf thickness (LT), the relative water content (RWC), the parameters of PSII photochemistry (Φ_{PSII} , ETR, qN, qP, NPQ, YIELD= Φ_{PSII_0}) and the gas-exchange parameters (A, g_s και E). All photosynthetic parameters were measured by means of light-response curves. Also, the concentration of chlorophylls of the measured leaves was determined. In the end of experiment, all parameters were correlated.

The objects of the study were: a) the evaluation of the effect of salinity in biometric characteristics of growth and physiological parameters of plants b) the investigation of the possibility of installation and growth of the plants *Nerium oleander* and *Salvia officinalis* in coastal areas c) the evaluation of the effect of boric acid (H₃BO₃), which although there is in seawater at high levels, almost never included in artificial solutions which simulate seawater in salinity effect experiments.

Both species that were studied performed different behavior to the various treatments. More specifically for *Nerium oleander* the solutions simulating the composition of sea aerosol did not effect in the growth of plants during the unfavorable period (in summertime), coped satisfactorily with the stress that they were exposed. The photosynthetical parameters were found in complete agreement with the macroscopic performance of plants and the growth parameters, giving high

values of Φ_{PSII} , ETR and YIELD, for all applications. Consequently, the *Nerium oleander* performed as tolerant plant to the salinity factor, thus making the plant suitable for plantings in coastal areas.

As to the *Salvia officinalis*, the results were different. The solution containing NaCl (A) had negative effect in the growth of plants. To the biometric characteristics of plants, the NaCl spray with application frequency 2t./w. gave the lowest values in height for plants in the end of the experiment (September measurements) and low values of basic physiological parameters (low photosynthetic activity, Φ_{PSII} , ETR). Moreover, during the unfavorable period of summertime, the stress of the plants to the treatments with application frequency 2t./w. was particularly strong (expressed with leaves kinks, regional drying, point burns, defoliation). However, in the end of unfavorable period and in all plants, it was observed that the *Salvia officinalis* recovers from the stress of summertime. Adding H_3BO_3 in the NaCl solution resulted the mitigating of salinity stress for both application frequencies. This mitigating was bigger in the beginning of the experiment (June measurements). Concluded then, that *Salvia officinalis* is susceptible plant to the salinity factor and consequently becomes unsuitable for plantings in coastal areas.

Συντομογραφίες

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ	ΕΡΜΗΝΕΙΑ
PSII	Φωτοσύστημα II : photosystem II
Φ_{PSII}	Λειτουργική φωτοχημική απόδοση της φωτοχημείας του PSII : effective quantum efficiency of photosystem II
Φ_{PSIIo}	Θεμελιώδης φωτοχημική απόδοση της φωτοχημείας του PSII : maximum (intrinsic) quantum efficiency of photosystem II
ETR	Φαινόμενος ρυθμός ροής ηλεκτρονίων : apparent electron transport rate
NPQ	Ρυθμός μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης : non-photochemical quenching of Chl fluorescence
q_N	Συντελεστής μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης : coefficient of non-photochemical quenching of Chl fluorescence
q_P	Συντελεστής φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης : coefficient of photochemical quenching of Chl fluorescence
PAR	Φωτοσυνθετικά ενεργός προσπίπτουσα ακτινοβολία : photosynthetically active radiation
A	Φωτοσυνθετική ταχύτητα : photosynthetic rate
E	Ταχύτητα διαπνοής : transpiration rate
g_s	Στοματική αγωγιμότητα : stomatal conductance to CO ₂
RWC	Σχετική περιεκτικότητα σε νερό : relative water content
Chla	Χλωροφύλλη a : chlorophyll a
Chlb	Χλωροφύλλη b : chlorophyll b
Chl(a+b)	Ολικές χλωροφύλλες : total chlorophylls

A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. Αυτοφυή και ενδημικά φυτικά είδη και η χρήση τους στην κηποτεχνία

1.1. Γενικά

Μέσω της Αρχιτεκτονικής Τοπίου με την κατάλληλη επιλογή και χρήση διαφόρων στοιχείων, επιτυγχάνεται ενότητα, αρμονία και ισορροπία μεταξύ του ανθρώπου και του φυσικού του περιβάλλοντος. Η κατάλληλη επιλογή και χρήση φυτικού υλικού αποτελεί βασικό στοιχείο οργάνωσης και διαμόρφωσης του χώρου σε ένα λειτουργικό και αισθητικά αναβαθμισμένο περιβάλλον. Τα ενδημικά και αυτοφυή είδη αποτελούν ομάδα φυτικών ειδών με ιδιαίτερα καλλωπιστικά χαρακτηριστικά και ανθεκτικότητα σε βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες. Έτσι, δεν είναι τυχαία η στροφή που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στην επιλογή τους και την εκτεταμένη χρήση τους σε διάφορες εφαρμογές σε αστικά και περιαστικά περιβάλλοντα.

Η Ελλάδα θεωρείται μια από τις πλουσιότερες περιοχές της Ευρώπης σε χλωριδικό πλούτο καθώς σε αυτήν απαντούν τουλάχιστον 6.308 αυτόχθονα είδη και υποείδη φυτών (Μαλούπα *et al.*, 2011) και αυτός είναι και ο μεγαλύτερος αριθμός που έχει αναφερθεί μεταξύ όλων των άλλων ευρωπαϊκών χωρών. Ένας μεγάλος αριθμός αυτών των ειδών θεωρούνται ελληνικά ενδημικά και το ποσοστό τους στις διάφορες γεωγραφικές περιοχές της χώρας, αυξάνει από βορρά προς νότο με την Κρήτη να κατέχει το υψηλότερο ποσοστό ενδημικών.

Ο μεγάλος πλούτος της ελληνικής χλωρίδας σε ενδημικά φυτικά είδη οφείλεται στη γεωγραφική θέση της χώρας, στην ποικιλία τύπων ενδιαιτημάτων και μικροκλιματικών συνθηκών, στην εναλλαγή του τοπίου καθώς και στη γεωλογική ιστορία της Ελλάδας με τη δημιουργία πολυάριθμων βιοτόπων όπως νησιά και ορεινές περιοχές με ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες. Τα ιθαγενή μεσογειακά φυτά κάνουν την εμφάνισή τους από τα προϊστορικά χρόνια μέσα από τη μυθολογία, την ιστορία, τα ιερά κείμενα και την τέχνη (Gildemeister, 2004). Πολλά από αυτά τα είδη, χαρακτηρίζονται ως αυτοφυή με καλλωπιστική αξία ή/και αρωματικές και φαρμακευτικές ιδιότητες.

Στην εποχή επιτάχυνσης του ρυθμού απώλειας της βιοποικιλότητας και των φυτογενετικών πόρων, η χρήση αυτοφυών και ενδημικών ειδών της ελληνικής χλωρίδας στο αστικό και περιαστικό πράσινο συμβάλει στη διατήρηση της βιοποικιλότητας και ιδιαίτερα στην αειφορική διαχείριση του πρασίνου.

1.2. Χαρακτηριστικά και ιδιότητες αυτοφυών ειδών

Τα αυτοφυή ελληνικά είδη, συγκαταλέγονται μεταξύ των ιθαγενών μεσογειακών φυτών. Πολλά από τα ιθαγενή μεσογειακά φυτά διατηρούν τα περισσότερα φύλλα τους στη διάρκεια του ήπιου χειμώνα, μια στρατηγική που τους επιτρέπει να διατηρούν φωτοσυνθετικό έργο καθόλη τη διάρκεια του έτους. Τα σκληρά φύλλα των αειθαλών έχουν συνήθως διάρκεια ζωής 3-4 ετών. Οι μηχανισμοί προσαρμογής που διαθέτουν έχουν κοινό σκοπό την οικονομία νερού, ώστε να μπορέσουν να επιβιώσουν τους μήνες της καλοκαιρινής ξηρασίας. Τέτοιοι τρόποι εξοικονόμησης υγρασίας είναι η στρογγυλεμένη κόμη και η πυκνή διάταξη των βλαστών των φυτών, η ασημόχρωη απόχρωση των φύλλων που αντανακλά το φως και η οποία εμποδίζει ακόμα περισσότερο την απώλεια υγρασίας από τα στομάτια των φύλλων (π.χ. αρτεμισία, ασφάκα), το χνούδι στην επιφάνεια των φύλλων και η μείωση των διαστάσεων του φύλλου (Gildemeister, 2004).

Έχει αποδειχθεί με τα χρόνια, πως τα ιθαγενή μεσογειακά φυτά προσαρμόζονται στις δύσκολες κλιματολογικές συνθήκες όχι μόνο στο υπέργειο τμήμα τους αλλά και στο υπόγειο, σχηματίζοντας διάφορα είδη ριζών. Με το εκτεταμένο, πυκνοπλεγμένο ρίζωμα που διαθέτουν απορροφούν αποτελεσματικά το νερό από τις σύντομες νεροποντές και αγκυροβολούνται καλύτερα στο έδαφος. Σε όλες τις περιοχές με κλιματολογικές συνθήκες μεσογειακού τύπου, όπως είναι και η Ελλάδα, έχει αναπτυχθεί μια πλούσια χλωρίδα. Κάθε περιοχή έχει τα δικά της ιθαγενή φυτά, αλλά όλα έχουν την ικανότητα να αναπτύσσονται σε συνθήκες ήπιου, βροχερού χειμώνα και να αντέχουν τα μακριά ξηρά καλοκαίρια (Gildemeister, 2004).

Τα αυτοφυή είδη της Ελληνικής χλωρίδας είναι άριστα προσαρμοσμένα στο μεσογειακό κλίμα της Ελλάδας και χαρακτηρίζονται από τα εξής χαρακτηριστικά:

- Αντοχή στην ξηρασία
- Αντοχή στις ασθένειες
- Ανάπτυξη σε εδάφη φτωχά σε θρεπτικά στοιχεία

Είναι φυτά που μπορούν να ανεχθούν τις σκληρές κλιματολογικές συνθήκες, όπως την καλοκαιρινή ξηρασία και το φτωχό, συχνά βραχώδες έδαφος γύρω από τη Λεκάνη της Μεσογείου, και τα οποία επιβίωσαν στις τοποθεσίες που τους ταίριαζαν περισσότερο. Ζούσαν με τις εποχές, με την ξηρασία του καλοκαιριού και τη συχνά σπάνια βροχή του χειμώνα (Gildemeister, 2004). Τα φυτά αυτά παρουσιάζουν ανθεκτικότητα λόγω του ότι διαθέτουν μηχανισμούς επιβίωσης στα

φτωχά σε θρεπτικά συστατικά εδάφη, στο θερμό και ξηρό καλοκαίρι και σε διάφορους αβιοτικούς και βιοτικούς παράγοντες καταπόνησης.

Χάρη στην ποικιλομορφία τους, υπάρχουν είδη με πλούσια άνθη διαφόρων χρωμάτων, σχήματος και μορφών φύλλων. Η ομορφιά του φυλλώματός τους, συνήθως αιθαιλούς, και η προσαρμοστικότητά τους μαγεύουν και τα καθιστούν ελκυστικά. Ωστόσο, τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζουν οικολογικά και οικονομικά πλεονεκτήματα όταν χρησιμοποιούνται στην Αρχιτεκτονική Τοπίου. Όταν εγκαθίστανται σε διάφορα τοπία απαιτούν λογική χρήση των περιορισμένων υδάτινων πόρων, περιορισμένη έως μηδαμινή χρήση επικίνδυνων για την υγεία και το περιβάλλον φυτοφαρμάκων και περιορισμένη χρήση λιπασμάτων που περνούν στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Έτσι, η χρήση τους στη διαμόρφωση αστικών και περιαστικών, συμβάλει στη μείωση του κόστους συντήρησής τους.

Είναι εμφανές λοιπόν, ότι η προσθήκη αυτοφυών και ενδημικών φυτών σε έναν κήπο ή ακόμα και σε δημόσιους χώρους όπως είναι τα πάρκα, σε ορεινά ή παραθαλάσσια τοπία μόνο θετικά αποτελέσματα μπορεί να έχει για το κοινωνικό σύνολο αλλά και την ίδια τη φύση, καθώς πέρα από τα παραπάνω πλεονεκτήματα δίνεται η δυνατότητα σε πολλά φυτά που τείνουν να εξαφανιστούν, να πολλαπλασιαστούν ώστε να μη χαθούν για πάντα. Μέσα από αυτή τη διαπίστωση, γεννιέται η πρόκληση για τους αρχιτέκτονες τοπίου, για περισσότερη χρήση αυτοφυών ειδών στις διάφορες εφαρμογές φυτικού υλικού στο χώρο. Η ορθολογική χρήση ιθαγενών φυτών, μεμονωμένα ή ακόμα καλύτερα σε φυτοκοινωνίες, μπορεί να δώσει στοιχεία εξαιρετικής ομορφιάς μέσα στα τοπία δεδομένου ότι τα φυτά αυτά είναι ζωντανά ιστορικά στοιχεία του τόπου, αποτελούν δυναμικό στοιχείο της παράδοσης και συνδέουν τους ανθρώπους με τον τόπο τους και τις γενιές που προηγήθηκαν.



Εικόνα 1 Τοπίο αστικού χώρου με αυτοφυή είδη της ελληνικής χλωρίδας.

Πηγή: Cainadas *et al.*, 2000

2. Τοπία και κήποι παραθαλάσσιων περιοχών

Η Ελλάδα μια χώρα με κατεξοχήν μεσογειακό κλίμα και πλούσια χλωριδική ποικιλότητα, διαβρέχεται στο μεγαλύτερο ποσοστό της από θάλασσα. Η έντονη ηλιοφάνεια, οι θαλάσσιες αύρες, ο αλμυρός αέρας, η υγρασία, η άμμος, οι ισχυροί άνεμοι και τα αλατούχα εδάφη αποτελούν στοιχεία που δημιουργούν ιδιαίτερη ατμόσφαιρα σε παραθαλάσσιες περιοχές αλλά παράλληλα και σοβαρούς ανασταλτικούς παράγοντες καλής εγκατάστασης και ανάπτυξης πολλών φυτικών ειδών. Ωστόσο έχει παρατηρηθεί πως ότι διάφορα είδη αναπτύσσονται σε τέτοια περιβάλλοντα λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που φέρουν όπως κάλυψη των φύλλων με λευκό χνούδι (π.χ. *Cistus monspeliensis*) και κηρώδες επίχρισμα (π.χ. γιούκα, ιτιά κ.ά.) που τα προστατεύουν από το αλάτι. Η ανθεκτικότητα άλλων φυτών σε αντίξοα περιβάλλοντα και ιδιαίτερα στα υδροσταγονίδια της θάλασσας μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι τα στομάτια βρίσκονται στην αποαξονική επιφάνεια των φύλλων τους και τοποθετημένα σε εγκολπώσεις της επιφάνειας (κρύπτες) οι οποίες καλύπτονται από τρίχωμα όπως στο *Nerium oleander* με αποτέλεσμα να μην εισέρχεται το αλάτι στο εσωτερικό του φύλλου (Καραμπουρνιώτης *et al.*, 2012). Σε άλλα είδη, όπως στο τριαντάφυλλο, το ίλεξ, τη ζίνια, την πασχαλιά και τη μαύρη πεύκη, τα υδροσταγονίδια της θάλασσας μπορεί να δρουν προστατευτικά ελέγχοντας π.χ. τις μυκητολογικές προσβολές (Schmidt, 1998). Τα κωνοφόρα και τα αειθαλή φυτά υποφέρουν περισσότερο από το αλάτι της θάλασσας από ότι τα φυλλοβόλα, διότι δεν ρίχνουν τα φύλλα τους το φθινόπωρο με

αποτέλεσμα αυτά να είναι εκτεθειμένα σε αυτό όλο το χρόνο. Πολλά φυτά όπως το *Salvia officinalis* είναι περισσότερο ευπαθή στα υδροσταγονίδια της θάλασσας, όταν τα φύλλα είναι στη νεαρή τους ηλικία, όπως συμβαίνει την άνοιξη ή νωρίς το καλοκαίρι, με αποτέλεσμα να εμφανίζουν πολύ συχνά σημεία μάρανσης. Ευτυχώς, οι πιο ισχυρές παραθαλάσσιες καταιγίδες, θύελλες και βόρειοι άνεμοι συμβαίνουν αργά το καλοκαίρι και το φθινόπωρο, όταν το φύλλωμα έχει ωριμάσει και σκληραγωγηθεί (Κανταρτζής, 2003).

Η προβολή των παραθαλάσσιων περιοχών έχει ενισχυθεί με τη δημιουργία πολλών τεχνικών έργων (ξενοδοχειακών μονάδων, κατοικιών κ.ά.) που αναβαθμίζονται ακόμη περισσότερο με το κατάλληλα σχεδιασμένο διαμορφωμένο περιβάλλοντα χώρο. Η φιλοσοφία σχεδίασης και συγκρότησης κήπων παραθαλάσσιων περιοχών απαιτεί κυρίως τη γνώση των κατάλληλων φυτικών ειδών που είναι ανθεκτικά στα αλατούχα εδάφη και τα υδροσταγονίδια της θάλασσας. Για παράδειγμα, το *Nerium oleander* απαντάται συχνά σε παραθαλάσσιες φυτεύσεις και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως προστατευτικός φράκτης, στην πρώτη ζώνη φύτευσης (Κανταρτζής, 2003).



Εικόνα 2 Παραθαλάσσιο τοπίο στη Νέα Παραλία Θεσσαλονίκης.
Πηγή: Κανταρτζής, 2003

Η επιλογή και χρήση ξηροφυτικών ειδών, ανθεκτικών στην περιορισμένη εδαφική υγρασία και τους επικρατούντες ανέμους είναι ιδανική και σε συνδυασμό με άλλα είδη καλλωπιστικών ειδών με έντονους χρωματισμούς ανθέων και ανθοφορίας συμβάλλει στη δημιουργία ευχάριστων και εντυπωσιακών γραφικών παραθαλάσσιων τοπίων (Κανταρτζής, 2003). Φυσικά, συνεργιστικοί παράγοντες για ένα τέτοιο αποτέλεσμα είναι τα εμπλουτισμένα σε θρεπτικά συστατικά εδάφη, με αυτόματη άρδευση που συντελεί στην έκπλυση των αλάτων.

Τα είδη *Salvia officinalis* και *Nerium oleander* αποτελούν είδη της ελληνικής χλωρίδας με ιδιαίτερα καλλωπιστικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες και για το σκοπό αυτό επιλέχθηκαν για περαιτέρω έρευνα ως προς την καταλληλότητα εγκατάστασης και ανάπτυξής τους σε παραθαλάσσια περιβάλλοντα.



Εικόνα 3 Παραθαλάσσιο τοπίο στη νότια Κρήτη.
Πηγή: Προσωπικό αρχείο

3. Φυτικό υλικό

Ολοένα και περισσότερο αυτοφυή φυτά της Ελληνικής χλωρίδας προτιμώνται και εισάγονται για χρήση ανθοκομική σε διάφορες εφαρμογές πρασίνου. Αυτό οφείλεται σε μια σειρά πλεονεκτημάτων όπως το ότι είναι εγκλιματισμένα στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας, διαθέτουν μηχανισμούς αντίδρασης και ανθεκτικότητας σε αντίξοες συνθήκες περιβάλλοντος (υγρασία, αλατότητα κλπ.) ενώ παράλληλα με τη χρήση τους συμβάλλουν στη διατήρηση ή στην επαναφορά της αυτοφυούς χλωρίδας, η οποία τείνει να εξαφανιστεί. Αναμφίβολα και τα αρωματικά φυτά κατέχουν εξέχουσα θέση στη Μεσογειακή κηποτεχνία και Αρχιτεκτονική Τοπίου. Αυτό που τα κάνει να ξεχωρίζουν είναι η ιδιότητά τους να ευωδιάζουν όλες τις εποχές του χρόνου και να μας προσφέρουν υγεία και ευεξία.

3.1. *Salvia officinalis*

Οικογένεια: Lamiaceae (Labiatae) Χειλανθή

Επιστημονική ονομασία: *Salvia officinalis*

Ελληνική ονομασία: Φασκόμηλο ή Φασκομηλιά ή Σάλβια η φαρμακευτική ή Ελελίφασκος ο φαρμακευτικός

Αγγλική ονομασία: Common Sage, Sage, Garden Sage (Quattrocchi, 1999)



Εικόνα 4 Φυτό *Salvia officinalis*

Πηγή: Wikipedia (Δ1)

Περιγραφή

Το φυτό *Salvia officinalis* ανήκει στην οικογένεια Labiatae και απαντάται σε όλες τις περιοχές της Ελλάδας κυρίως σε ξηρές και πετρώδεις περιοχές.

Το *Salvia officinalis* είναι πολυετής πόα με πολυάριθμα κλαδιά και ύψος 30-50 cm, ξυλώδες στη βάση του και τρυφερό στις κορυφές. Ο βλαστός του είναι τετράγωνης τομής και τα φύλλα του είναι αντίθετης διάταξης, επιμήκη, λογχοειδή, παχιά, ρυτιδωμένα, οδοντωτά ή πριονωτά, χνουδάτα, χρώματος πράσινου ή σταχτί. Η ανθοφορία του διαρκεί από το Μάιο έως τον Ιούλιο. Τα άνθη του είναι ιώδη – γαλαζοιώδη και φύονται ανά 3-6 κατά αραιούς σπονδύλους που σχηματίζουν βότρυ (Ακουμιανάκη *et al.*, 2000).

Στη χώρα μας είναι γνωστό με το κοινό όνομα φασκόμηλο. Είναι φυτό με έντονη αρωματική οσμή και περιέχει ως κύρια ουσία αιθέριο έλαιο (φασκομηλόλαδο) άχρωμο ή ερυθροκίτρινο, σαπωνίνες, πικρές ουσίες, τερπένια, ρητίνες, πικρά διτερπένια, τριτερπένια, ταννίνες, φλαβονοειδή, συστατικά φαινολικών οξέων και θουγιόνη (μια μονοτερπενική κετόνη). Η γεύση του είναι αρκετά πιπεράτη. Τα φύλλα του λόγω της υψηλής περιεκτικότητας αιθέριων ελαίων που περιέχουν έχουν αντισηπτικές, αποχρεμπτικές και σπασμολυτικές ιδιότητες, ανάλογων εκείνων της λεβάντας.

Πολλαπλασιασμός

Το φασκόμηλο πολλαπλασιάζεται με σπόρο που σπέρνεται σε σπορείο από τον Αύγουστο έως τον Οκτώβριο ή τον Μάρτιο. Επίσης μπορεί να πολλαπλασιασθεί με μοσχεύματα και παραφυάδες από φυτά μεγάλης ηλικίας.

Καλλιεργητικές απαιτήσεις – Συνθήκες περιβάλλοντος

Το φυτό *Salvia officinalis* αναπτύσσεται σε διάφορους τύπους εδαφών, αλλά προτιμάει κυρίως τα ασβεστούχα, με καλή αποστράγγιση, μέσης σύστασης εδάφη. Τα πολύ ελαφρά αμμώδη και τα βαριά συνεκτικά δεν είναι κατάλληλα για την καλλιέργειά της, αντίθετα προτιμά τα πετρώδη και άγονα εδάφη. Εδάφη με pH μεταξύ 4,8 και 8,3, με χώμα αργιλώδες και πλούσιο σε άζωτο ενδείκνυνται για την καλλιέργεια του φυτού. Είναι φυτό ανθεκτικό στο κρύο και μπορεί να ευδοκιμήσει τόσο σε ψυχρές όσο και σε θερμές περιοχές. Αναπτύσσεται υπό συνθήκες μεγάλης

ηλιοφάνειας και αντέχει στην ξηρασία. Επίσης, αναπτύσσεται καλύτερα σε περιοχές με ετήσια βροχόπτωση 0,3 - 2,6 m. Τα φυτάρινα φυτεύονται κατά γραμμές, σε απόσταση 40-50 cm το ένα από το άλλο επί της γραμμής και 70 cm μεταξύ των γραμμών.

Τα φύλλα του είναι και το κατεξοχήν χρησιμοποιούμενο μέρος του φυτού, συλλέγονται λίγο πριν ή κατά την αρχή της ανθοφορίας (με το άνοιγμα των ανθέων) με ξηρό και ηλιόλουστο καιρό, το Μάιο ή τον Ιούνιο και ξηραίνονται στη σκιά ή σε θερμοκρασία που δεν ξεπερνά τους 35°C (Μπουχέλος, 2013).

Χρήσεις

Το φυτό *Salvia officinalis* καλλιεργείται για τις φαρμακευτικές του ιδιότητες, ως αφέψημα και ως καρύκευμα στα φαγητά. Τα φύλλα του και τα άνθη του χρησιμοποιούνται για θεραπευτικούς σκοπούς. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται ως τονωτικό σε περιπτώσεις στομαχικών διαταραχών, ως θεραπευτικό του στόματος, ως αιμοστατικό και αγγολυτικό, καρδιοτονωτικό και ακόμα κατά της νευραλγίας. Επίσης έχει αντιβιοτική, αντιμυκητιακή, αντισπασμωδική και υπογλυκαιμική δράση. Σύμφωνα με τελευταίες έρευνες, η χρήση του εκχυλίσματος του *Salvia officinalis* έχει θετική επίδραση στη θεραπεία του Αλτσχάιμερ και στην υπερλιπιδαιμία. Επίσης, βρίσκει εφαρμογή στην αρωματοβιομηχανία και φαρμακοβιομηχανία. Στη μαγειρική χρησιμοποιείται για τον αρωματισμό διαφόρων ζωμών, φαγητών και του ξιδιού ενώ θεωρείται και μελισσοτροφικό φυτό παρέχοντας μέλι εκλεκτής ποιότητας. Στις περιοχές της Μεσογείου αποξηραίνεται και πίνεται ως αφέψημα, το γνωστό φασκόμηλο (Μπουχέλος, 2013).

Στην Αρχιτεκτονική Τοπίου λόγω της ιδιαίτερης διακοσμητικής του αξίας μπορεί να επιλεγεί σε διάφορες εφαρμογές. Το είδος είναι κατάλληλο για βραχόκηπους, σε παρτέρια σε συνδυασμό με άλλα αρωματικά είδη, σε φυτικά πλαίσια.

3.2. *Nerium oleander*

Οικογένεια: Apocynaceae Αποκυνίδες

Επιστημονική ονομασία: *Nerium oleander* L.

Ελληνική ονομασία: Πικροδάφνη ή Ροδοδάφνη ή Νήριον

Αγγλική ονομασία: Oleander, Rosebay (Wrobel & Creber, 1999)



Εικόνα 5 Φυτό *Nerium oleander*
Πηγή: Wikipedia (Δ2)

Περιγραφή

Το όνομα Νήριον είναι ελληνικό, και το χρησιμοποίησε για πρώτη φορά ο Διοσκουρίδης. Ανήκει στην οικογένεια των Αποκυνίδων (Apocynaceae) και αυτοφύεται στην Ελλάδα και στις παραμεσόγειες χώρες. Είναι θάμνος αειθαλής ή μικρό δέντρο, με μέτριο ρυθμό ανάπτυξης και ύψος μέχρι 5 m. Τα κλαδιά του βγαίνουν σε δέσμη, κατ'ευθείαν από τη βάση, χωρίς κορμό. Είναι όρθια και σκεπασμένα σε όλο το μήκος τους από φύλλα, τα οποία είναι μακρόστενα, δερματώδη, λογχοειδή και ακέραια με νεύρωση πτερωτή. Τα άνθη φυτρώνουν σε ταξιανθίες σκιάδια, στην κορυφή των βλαστών κατά κορύμβους από το τέλος Μαΐου μέχρι τον Οκτώβριο - Νοέμβριο. Το φυτό φέρει άνθη μεγάλα, χοανοειδή, με διάμετρο γύρω στα 6 cm, μονά ή διπλά και έχουν πέντε πέταλα, απλωτά, ενωμένα στη βάση σε μακρύ σωλήνα. Το χρώμα τους είναι ρόδινο, σομόν ή κιτρινωπό, αλλά υπάρχουν και ποικιλίες με λευκά, μωβ και διπλά άνθη. Σε πολλές ποικιλίες τα άνθη είναι αρωματικά. Ο καρπός είναι δερματώδης κάψα με δύο καρπόφυλλα, μακρόστενος και

κυλινδρικός. Όταν ωριμάσει ανοίγει κατά μήκος και ελευθερώνει τα σπέρματα. Αυτά είναι μικρά, αλλά διαθέτουν θύσανο τριχών, που τα βοηθά να πετούν στον αέρα και να παρασύρονται σε μεγάλες αποστάσεις. Διαθέτει δηλητηριώδη χυμό, την τοξική αλκαλοειδή ουσία νηρίνη, και έχει ως στόχο να προστατεύσει το φυτό από τις επιθέσεις ζώων (Cainadas *et al.*, 2000).

Η πικροδάφνη είναι θάμνος κοινός στις ζεστότερες περιοχές του τόπου μας ακόμα και σε παραθαλάσσιες περιοχές.

Πολλαπλασιασμός

Η πικροδάφνη πολλαπλασιάζεται πολύ εύκολα με μοσχεύματα μαλακού ή ημίσκληρου ξύλου την άνοιξη και το καλοκαίρι αντίστοιχα, με παραφυάδες και με σπόρο την άνοιξη.

Καλλιεργητικές απαιτήσεις

Είναι μη απαιτητικό φυτό, το οποίο προσαρμόζεται σε όλα τα εδάφη, ακόμη και τα ξερά και άγονα. Αντέχει επίσης τα ελαφρώς υφάλμυρα εδάφη ή αλατούχα. Είναι φυτό ανθεκτικό στην ξηρασία και τον άνεμο. Ευδοκίμει σε μέρη με υγρό υπόστρωμα, όπως στις όχθες των ποταμών και ρυακιών, στις κοίτες των χειμάρρων και σε χαράδρες χαμηλού υψομέτρου. Είναι σχετικά ευπαθές φυτό στις χαμηλές θερμοκρασίες. Παγώνει στους 0°C, αλλά αναβλαστάνει γρήγορα, αν κλαδευτεί αυστηρά. «Προτιμάει» τις ηλιαζόμενες θέσεις, όπου αναπτύσσει πλούσια ανθοφορία, αλλά προσαρμόζεται και σε ημισκιερές και σκιερές με μειωμένη ανθοφορία.

Το φυτό γενικά δέχεται κλαδέματα τα οποία γίνονται ανά 2 ή 3 χρόνια για έλεγχο της βλάστησης και του σχήματος του φυτού νωρίς την άνοιξη. Εφόσον, αρδεύεται εντατικά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού μπορεί να εξασφαλιστεί πλουσιότερη βλάστηση και παρατεταμένη ανθοφορία (Ακουμιανάκη *et al.*, 2000).

Χρήσεις

Η πικροδάφνη καλλιεργείται πολύ για τα μεγάλα θαυμάσια λουλούδια της. Ως διακοσμητικός θάμνος, με θαυμάσια ποικιλόχρωμα άνθη όλο το καλοκαίρι, σχηματίζει ωραίους εντυπωσιακούς φράκτες, ελεύθερης ανάπτυξης ή ελεγχόμενου ύψους σε πάρκα, κήπους, νησίδες δρόμων και σε μικρές δενδροστοιχίες. Φυτεύεται

μεμονωμένο ή σε συνδυασμό με άλλους θάμνους δημιουργώντας ωραίες συστάδες μέσα σε χλοοτάπητα. Αποτελεί το πλέον κατάλληλο και ενδεδειγμένο καλλωπιστικό φυτό για το εθνικό και επαρχιακό οδικό δίκτυο της πατρίδας μας. Λόγω της ευρείας προσαρμοστικότητάς του και της μεγάλης διάρκειας ανθοφορίας του δίνει ζωντάνια και χρώμα σε κάθε χώρο στον οποίο εφαρμόζεται.

Ωστόσο τα φύλλα του φυτού χρησιμοποιούνται σε σκόνη, αφέψημα και εκχύλισμα για τις θεραπευτικές τους ιδιότητες μόνο κατόπιν ιατρικής συνταγής. Τελευταία συνίστανται από την ιατρική και ως καρδιοτονωτικό (Σεραϊδης, 2000).

4. Άμυνα των φυτών

4.1. Γενικά

Μια σημαντική λειτουργία που επιτελούν τα φυτά κυρίως μέσω των φύλλων τους είναι η άμυνα. Τα φύλλα διαθέτουν προστατευτικούς ιστούς και κατάλληλους αμυντικούς μηχανισμούς ώστε να προστατεύονται τόσο έναντι των βιοτικών (παθογόνα, έντομα κ.ά.), όσο και έναντι των αβιοτικών παραγόντων καταπόνησης (ακραίες θερμοκρασίες, έλλειψη νερού ή θρεπτικών συστατικών κ.ά.). Καθημερινά, αυτά υποβάλλονται σε περισσότερες της μιας καταπονήσεις. Η αλληλεπίδραση περισσότερων του ενός παραγόντων καταπόνησης δημιουργεί εξαιρετικά πολύπλοκες φυσιολογικές αντιδράσεις στα φυτά και τείνει να παρεμποδίσει την εύρυθμη λειτουργία φυσιολογικών μηχανισμών. Επομένως, η εμφάνιση δυσλειτουργιών σε ένα φυτικό οργανισμό αποτελεί ένδειξη ύπαρξης παραγόντων καταπόνησης στο περιβάλλον του.

Συνήθως ένας παράγοντας καταπόνησης επηρεάζει περισσότερες της μιας φυσιολογικές λειτουργίες. Οι περιβαλλοντικές καταπονήσεις δημιουργούν συνθήκες ισχυρής επιλεκτικής πίεσης, προκαλώντας μεταβολές των φυσιολογικών, μορφολογικών και βιοχημικών χαρακτηριστικών σε ένα φυτικό οργανισμό, που συντελούν στην προσαρμογή και επιβίωσή του σε αντίξοες συνθήκες περιβάλλοντος.

Φυτά τα οποία αποικούν αντίξοα περιβάλλοντα, συνήθως επενδύουν σημαντικά μεγάλο ποσοστό διαθέσιμων πόρων, προκειμένου να ανταπεξέλθουν στις καταπονήσεις στις οποίες ασκούνται. Κατ'επέκταση, για το σκοπό αυτό απαιτείται υψηλή δαπάνη ενέργειας για μεταβολικές τροποποιήσεις (π.χ. κατασκευή αμυντικών δομών ή σύνθεση αμυντικών μεταβολιτών) ώστε τα φυτά να θωρακίσουν τους ιστούς τους και να αντιμετωπίσουν τις κάθε είδους καταπονήσεις. Αυτές διακρίνονται σε *βιοτικές*, οι οποίες προκαλούνται από άλλους οργανισμούς (παθογόνα, ζώα κ.ά.) και σε *αβιοτικές*, οι οποίες προκαλούνται από το πλεόνασμα ή την έλλειψη ενός πόρου στο φυσικό ή χημικό τους περιβάλλον ή ακόμα και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (ρύπανση, υποβάθμιση εδαφών κ.ά.).

4.2. Αβιοτικές καταπονήσεις, στρατηγικές και μηχανισμοί αντιμετώπισης τους

Η έκθεση των φυτών σε αντίξοες συνθήκες περιβάλλοντος, ανεξάρτητα του παράγοντα που μπορεί να τις προκαλέσει, έχει ως αποτέλεσμα αλληπάλληλες αντιδράσεις και μεταβολές σε γονιδιακό επίπεδο και κατ'επέκταση στην αύξηση και την ανάπτυξή τους. Συνήθως η παρουσία παραγόντων καταπόνησης στο περιβάλλον ενός φυτικού οργανισμού δεν παρουσιάζει ομοιόμορφη κατανομή στο χώρο και στο χρόνο. Οι σημαντικότεροι αβιοτικοί παράγοντες καταπόνησης είναι: η υδατική καταπόνηση, λόγω έλλειψης νερού, οι ακραίες θερμοκρασίες, η υψηλή ένταση ορατής ή / και υπεριώδους ακτινοβολίας, η ανεπάρκεια οξυγόνου, η μηχανική καταπόνηση, η οξειδωτική καταπόνηση αλλά και η υψηλή αλατότητα, που θα μας απασχολήσει στα επόμενα κεφάλαια.

Η τελική επιβίωση των φυτικών οργανισμών φαίνεται ότι οφείλεται στην ικανότητά τους να προσαρμόζονται στις δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες. Για το λόγο αυτό τα φυτά έχουν αναπτύξει περισσότερες της μιας στρατηγικές αντιμετώπισης των καταπονήσεων, μέσω μιας ακολουθίας κατάλληλων αμυντικών μηχανισμών οι οποίοι καθορίζονται γενετικά και τους επιτρέπουν να ανταπεξέλθουν και να επιβιώσουν σε ένα αντίξοο περιβάλλον. Μια στρατηγική είναι η *διαφυγή*, και αφορά κυρίως τα ετήσια φυτά, τα οποία ολοκληρώνουν το βιολογικό τους κύκλο μέσα στην ευνοϊκή περίοδο κατά την οποία δεν υφίσταται ο παράγων καταπόνησης. Η *ανθεκτικότητα* είναι μια άλλη στρατηγική, όπου τα φυτά παρουσία ενός ή περισσότερων παραγόντων καταπόνησης διατηρούν υψηλή μεταβολική δραστηριότητα, συγκρίσιμη με εκείνη η οποία παρατηρείται στις βέλτιστες συνθήκες. Τέλος, η *αποφυγή* αποτελεί μια ακόμη στρατηγική, όπου τα φυτά διαθέτουν μηχανισμούς οι οποίοι αμβλύνουν τις επιπτώσεις της καταπόνησης όπου ο παράγοντας καταπόνησης κρατείται εκτός των ευαίσθητων στόχων του φυτικού οργανισμού. Αξίζει να σημειωθεί πως η υιοθέτηση της κατάλληλης στρατηγικής εξαρτάται και από το στάδιο του βιολογικού κύκλου των φυτών.

Η επιλογή της επιμέρους στρατηγικής από το κάθε φυτό ώστε να αντιμετωπίσει έναν συγκεκριμένο παράγοντα καταπόνησης, προϋποθέτει τις κατάλληλες τροποποιήσεις σε επίπεδο δομών ή/και λειτουργιών (Καραμπουρνιώτης *et al.*, 2012). Σε περίπτωση που οι τροποποιήσεις καθορίζονται γενετικά και εμφανίζονται μέσω της διαδικασίας της επιλογής για ένα διάστημα αρκετών γενεών, περιγράφονται με τον όρο *προσαρμογή*, με την οποία προσδίδονται ανταγωνιστικά

πλεονεκτήματα στο συγκεκριμένο είδος όταν στο περιβάλλον επικρατεί ένας ή περισσότεροι παράγοντες καταπόνησης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα κατάλληλα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά τα οποία διαθέτουν οι κάκτοι. Όταν οι τροποποιήσεις μορφολογικών ή/και φυσιολογικών χαρακτηριστικών, οι οποίες συμβαίνουν κατά τη διάρκεια του βιολογικού κύκλου ενός φυτικού οργανισμού, για την αντιμετώπιση ενός ή περισσοτέρων παραγόντων καταπόνησης είναι επίκτητες τότε αναφερόμαστε σε *εγκλιματισμό*. Μέσω του εγκλιματισμού οι τροποποιήσεις συνήθως επάγονται κατά τη διάρκεια βαθμιαίας έκθεσης στις δυσμενείς συνθήκες με τελικό αποτέλεσμα την αντιμετώπιση της καταπόνησης. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι κατά τη διάρκεια των μεταβολικών τροποποιήσεων του εγκλιματισμού, η ομοιόσταση σε κυτταρικό επίπεδο ανταποκρίνεται στις νέες συνθήκες. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως η ικανότητα εγκλιματισμού ενός φυτικού οργανισμού αποτελεί γενετικά καθορισμένο χαρακτηριστικό και οι επαγόμενες τροποποιήσεις δε μεταβιβάζονται ως χαρακτήρας στην επόμενη γενεά.

5. Η αλατότητα ως παράγοντας καταπόνησης

Με τον όρο *αλατότητα*, εννοούμε την παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων ιόντων, κατά κανόνα Na^+ και Cl^- , κυρίως στο περιβάλλον της ρίζας αλλά και στο υπέργειο μέρος των φυτών. Ως παράγοντας καταπόνησης, η αλατότητα παρουσιάζεται σε εκτεταμένες περιοχές του πλανήτη οι οποίες εμφανίζουν υψηλή αλατότητα στο έδαφος για διαφορετικούς λόγους όπως (α) είτε γιατί διαβρέχονται από θαλασινό νερό (αλίπεδα ή υφάλμυρα έλη) (β) είτε γιατί ο ρυθμός εξάτμισης του νερού είναι κατά πολύ υψηλότερος από το ρυθμό βροχόπτωσης (γ) είτε γιατί συσσωρεύονται ιόντα στο έδαφος λόγω έντονης εξατμισοδιαπνοής σε υπερβολικά αρδευόμενες εκτάσεις. Επειδή τα περισσότερα φυτικά είδη, παρουσιάζουν ευαισθησία σε συνθήκες έστω και ήπιας αλατότητας στο εδαφικό περιβάλλον, οι επιπτώσεις σε επίπεδο αύξησης και ανάπτυξής τους είναι σημαντικές. Σε αυτό το σημείο καθοριστική σημασία παίζουν διάφορες παράμετροι όπως η συγκέντρωση των ιόντων, η σύσταση των εδαφών, η υψομετρική διαφορά και η απόσταση από τη θάλασσα, ο ρυθμός εξάτμισης αλλά και ο ρυθμός βροχοπτώσεων.

Τα επίπεδα αλατότητας (συγκεντρώσεων των ιόντων) κάτω από τα οποία αναπτύσσονται τα φυτά μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη μορφολογία, ανατομία, βιοχημεία και φυσιολογία των οργάνων τους και συγκεκριμένα των φύλλων. Ωστόσο, μπορεί να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα καταπόνησης για τα φυτά με τη μορφή τοξικότητας. Εκτός από τις παραμέτρους που προαναφέρθηκαν, σημαντικό ρόλο παίζει και ο βαθμός ανθεκτικότητας κάθε φυτικού είδους σε αυτό τον παράγοντα καταπόνησης, από τον οποίο εξαρτάται και η επιβίωσή του σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον.



Εικόνα 6 Γυμνό δάσος από κυπαρίσσια (*Cupressus* sp.), το οποίο έχει υποκύψει στην πίεση αλατότητας.

Πηγή: Δ3

5.1. Καταπόνηση από αλατότητα

Η αλατότητα αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες καταπόνησης και περιορισμού ανάπτυξης των φυτικών οργανισμών. Όμως, η ευαισθησία των φυτών στην καταπόνηση λόγω αλατότητας ποικίλει από είδος σε είδος. Η καταπόνηση λόγω αλατότητας επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη και τελικώς την επιβίωση των φυτικών ειδών σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα. Οι δυσμενείς επιδράσεις της καταπόνησης λόγω αλατότητας εξετάζονται συνήθως υπό το πρίσμα της περίσσειας ιόντων στο εδαφικό διάλυμα και εκδηλώνονται σε τέσσερα διαφορετικά επίπεδα:

(α) αλλοίωση των χαρακτηριστικών του εδάφους (πορώδες, αερισμός, ηλεκτρική αγωγιμότητα) με αποτέλεσμα την υποβάθμισή του

(β) διαμόρφωση χαμηλού δυναμικού του νερού στο έδαφος (οσμωτική καταπόνηση) με αποτέλεσμα την έλλειψη νερού στους φυτικούς ιστούς

(γ) παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων ιόντων (ιοντική καταπόνηση) με αποτέλεσμα την αδυναμία απορρόφησης θρεπτικών συστατικών από το εδαφικό περιβάλλον (π.χ. το Na^+ ανταγωνίζεται κυρίως την πρόσληψη του K^+)

(δ) άσκηση τοξικότητας στο εσωτερικό των κυττάρων (ανωμαλίες στην περατότητα των μεμβρανών, παρεμπόδιση της καταλυτικής δράσης ενζύμων, δυσλειτουργίες στην αφομοίωση του άνθρακα) που επιφέρει επιβράδυνση της ανάπτυξης των ευαίσθητων φυτικών ειδών

Ιδιαίτερα ευαίσθητο στόχο αποτελεί η φωτοσυνθετική ροή ηλεκτρονίων η οποία μπορεί να διαταραχθεί ακόμα και με την ύπαρξη χαμηλών συγκεντρώσεων των ιόντων Na^+ και Cl^- . Επίσης, η λειτουργία της φωτοσυνθετικής συσκευής διαταράσσεται λόγω της μειωμένης στοματικής αγωγιμότητας που επιφέρει μειωμένη τροφοδοσία με CO_2 (Καραμπουρνιώτης *et al.*, 2012). Οι συνθήκες αυτές ευνοούν τη δημιουργία ενεργών μορφών οξυγόνου (Relative Oxygen Species, ROS) και οξειδωτική καταπόνηση, που αποτελούν μια σημαντική παρενέργεια της καταπόνησης αλατότητας.

Οι επιπτώσεις της καταπόνησης λόγω αλατότητας στην παραγωγικότητα και την επιβίωση των φυτών είναι πολυσύνθετες και διαφέρουν ανάλογα με την ένταση και τη διάρκεια της καταπόνησης ενώ παράλληλα εξαρτώνται από τα κρίσιμα χαρακτηριστικά του φυτικού οργανισμού, όπως (α) την ικανότητα απορρόφησης των ιόντων από το έδαφος ή το υπέργειο μέρος του (β) την ικανότητα εγκλιματισμού του και (γ) την ικανότητα ανθεκτικότητας και ευαισθησίας του.

5.2. Στρατηγικές αντιμετώπισης της καταπόνησης των φυτών από αλατότητα

Για την αντιμετώπιση της καταπόνησης αλατότητας τα φυτά έχουν αναπτύξει τρεις κύριες στρατηγικές, τη διαφυγή, την αποφυγή και την ανθεκτικότητα. Ωστόσο, παρατηρούνται σημαντικές αποκλίσεις στην αντιμετώπιση της εν λόγω καταπόνησης μεταξύ των φυτών (αλόφυτα, γλυκόφυτα).

Διαφυγή: αφορά την ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου ενός φυτικού οργανισμού εντός της ευνοϊκής περιόδου χωρίς την παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων Na^+ και Cl^- . Ευαίσθητα φυτά έναντι της αλατότητας (γλυκόφυτα) έχουν επιλέξει αυτή τη στρατηγική και δεν μπορούν να ολοκληρώσουν το βιολογικό τους κύκλο ακόμη και σε εδάφη με χαμηλά επίπεδα αλάτων.

Αποφυγή: αφορά την παρεμπόδιση της εισόδου των ιόντων στο εσωτερικό των ευαίσθητων κυττάρων, ειδικά αυτών των φωτοσυνθετικών ιστών. Φυτικά είδη τα οποία επιλέγουν τη στρατηγική της αποφυγής, μέσω μηχανισμών που διαθέτουν αμβλύνουν τις επιπτώσεις της υπάρχουσας καταπόνησης (ρυθμιστές αλατότητας). Οι κύριοι μηχανισμοί της στρατηγικής αυτής είναι τρεις:

A. *Αποφυγή με αποκλεισμό των ιόντων στο εξωτερικό περιβάλλον*. Ορισμένα φυτικά είδη δεν απορροφούν το αλάτι, αλλά το αποκλείουν ενεργητικά στο εξωτερικό περιβάλλον των ριζών (π.χ. το είδος *Rhizophora mangle*).

Β. Αποφυγή με μεταφορά στο υπέργειο τμήμα και με απέκκριση από αδένες. Κάποιοι άλλοι ρυθμιστές αλατότητας επιτρέπουν την είσοδο του αλατιού, το οποίο οδηγείται προς εξειδικευμένους αλατώδεις αδένες των φύλλων και εκκρίνονται από αυτούς με



Εικόνα 7 Σχηματισμένοι κρύσταλλοι άλατος σε μακρόβιο φύλλο.

Πηγή: Δ4

τη μορφή κόκκων ή κρυστάλλων (π.χ. είδη των γενών *Tamarix* και *Limonium*).

Γ. Αποφυγή με περιορισμό των ιόντων σε ιστούς της ρίζας.

Σε πολλά είδη γλυκοφύτων το αλάτι απορροφάται από τις ρίζες αλλά παρεμποδίζεται η μεταφορά του μέσω των αγγείων του ξύλου προς το υπέργειο τμήμα. Ο έλεγχος επιτελείται στα κύτταρα του ξυλώδους παρεγχύματος.

Ανθεκτικότητα: αφορά τη διατήρηση υψηλής μεταβολικής δραστηριότητας ακόμα και παρουσίας υψηλών συγκεντρώσεων ιόντων άλατος, χωρίς να παρουσιάζονται δυσλειτουργίες. Φυτικά είδη, τα οποία επιλέγουν τη στρατηγική της ανθεκτικότητας έναντι της αλατότητας, προσαρμόζουν το μεταβολισμό τους όπως

στις βέλτιστες συνθήκες και επιτρέπουν την είσοδο των ιόντων στο εσωτερικό των ευαίσθητων κυττάρων. Η επιβίωση αυτών των φυτών στηρίζεται στην πρόσληψη υψηλών συγκεντρώσεων αλατιού εντός των κυττάρων τους, όπου συσσωρεύονται στο χυμοτόπιο, προκαλείται πτώση του οσμωτικού δυναμικού σε αυτό ενώ παράλληλα επιτυγχάνονται ικανοποιητικές πιέσεις σπαργής, έτσι ώστε να αντισταθμιστεί το χαμηλό δυναμικό του νερού του εδάφους μέσω μηχανισμών οσμωτικής εξισορρόπησης. Μέσω της οσμωτικής εξισορρόπησης αντιμετωπίζεται η οσμωτική καταπόνηση, ενώ μέσω της συσσώρευσης των ιόντων στο χυμοτόπιο αντιμετωπίζεται η ιοντική καταπόνηση αφού περιορίζεται η επαφή των τοξικών ιόντων με ευαίσθητους στόχους (Καραμπουρνιώτης *et al.*, 2012).

5.3. Η καταπόνηση από αλατότητα επιφέρει τροποποιήσεις σε μορφολογικό και φυσιολογικό επίπεδο

Η εμφάνιση αλατότητας προξενεί ένα ευρύ φάσμα αντιδράσεων που μπορεί να περιλαμβάνουν τροποποιήσεις δομών και λειτουργιών όλου του φυτικού οργανισμού. Οι μεταβολές αυτές αφορούν τη γονιδιακή έκφραση, τη μορφολογία και φυσιολογία, την αύξηση και ανάπτυξη των καταπονημένων φυτών. Η φωτοσύνθεση,

η πρωτεϊνοσύνθεση και η μεταβολική δραστηριότητα είναι οι κύριες λειτουργίες οι οποίες επηρεάζονται περισσότερο από την επίδραση της αλατότητας (Parida *et al.*, 2005). Τα συμπτώματα γίνονται εμφανή σε σύντομο χρονικό διάστημα και στις περισσότερες περιπτώσεις είναι κοινά σε όλα τα φυτά.

5.3.1. Μορφολογικές τροποποιήσεις

5.3.1.1. Περιορισμός του ποσοστού επέκτασης της επιφάνειας των φύλλων και μείωση της ανάπτυξης των φυτών

Αποτελεί το πρώτο ορατό σύμπτωμα της αλατότητας, ενώ ακολουθείται από μια παύση της επέκτασης των φύλλων καθώς η πίεση εντείνεται και οι συγκεντρώσεις των ιόντων αυξάνονται. Επίσης, η πίεση της αλατότητας οδηγεί σε καχεκτική ανάπτυξη των φυτών και αισθητή μείωση του νωπού και ξηρού βάρους των φύλλων, των μίσχων και των ριζών. Αυξημένα επίπεδα αλάτων (NaCl) έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση του βάρους των βλαστών και του αριθμού των φύλλων ανά φυτό, τη μείωση του ύψους των φυτών και εν τέλει την καθυστέρηση ή αναστολή της ανάπτυξής τους (Parida *et al.*, 2005).

5.3.1.2. Αλλοίωση των χαρακτηριστικών των φύλλων

Η εκδήλωση παχυμορφισμού στα φύλλα αποτελεί σύνηθες χαρακτηριστικό εγκλιματισμού ή προσαρμογής των φυτών στα οποία ασκείται καταπόνηση λόγω αλατότητας. Ο παχυμορφισμός χαρακτηρίζεται από αύξηση του πάχους των φύλλων και αύξηση του περιεχόμενου νερού ανά μονάδα επιφάνειας φύλλου, ενώ παράλληλα σχετίζεται με την αντιμετώπιση των υπερβολικών ποσοτήτων αλάτων, τα οποία συσσωρεύονται στα φύλλα. Παράλληλα, αποτελεί ένα μηχανισμό «αραίωσης» των αλάτων, αφού η αύξηση του όγκου των παρεγγυματικών κυττάρων εξισορροπεί τη σταδιακή είσοδο νέων ιόντων στα κύτταρα με τελικό αποτέλεσμα η συγκέντρωση των αλάτων να παραμένει σχετικά σταθερή και το δυναμικό του νερού των κυττάρων να διατηρείται σε ανεκτά επίπεδα. Στα φύλλα κάποιων φυτών (π.χ. φασόλι, βαμβάκι κλπ.) έχουν εκδηλωθεί συμπτώματα όπως αύξηση του πάχους της επιδερμίδας και του μεσοφύλλου ενώ αντίθετα στα φύλλα του μανκρόβιου φυτού *Buddleja parviflora* έχει παρατηρηθεί μείωση του πάχους των επιδερμικών κυττάρων και του μεσοφύλλου και μικρότερα ενδοκυτταρικά κενά, μετά από εφαρμογή με NaCl (Parida *et al.*, 2005).

5.3.1.3. Μάρανση και αποβολή των φύλλων

Σε πολλές περιπτώσεις, τα υψηλά επίπεδα αλατότητας επιφέρουν γήρανση και αποκοπή των παλαιότερων φύλλων με αποτέλεσμα την παραμονή μόνο των κορυφαίων νεότερων φύλλων στο βλαστό.

5.3.2. Φυσιολογικές τροποποιήσεις

5.3.2.1. Διατάραξη της φωτοσυνθετικής λειτουργίας και των φωτοσυνθετικών χρωστικών

Η σημαντικότερη φυσιολογική διαδικασία, η οποία επηρεάζεται βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα από τον παράγοντα της αλατότητας είναι η φωτοσύνθεση (Parida *et al.*, 2005). Ο βαθμός διαταραχής ποικίλει από είδος σε είδος (Sánchez-Blanco *et al.*, 2004). Ο ρυθμός φωτοσύνθεσης εμφανίζεται αισθητά χαμηλότερος στα φυτά, τα οποία εκτίθενται στην αλατότητα και συγκεκριμένα σε τοξικά επίπεδα νατρίου (Na^+) και χλωρίου (Cl^-). Για παράδειγμα, σε φύλλα ελιάς (*Olea europaea* L.) έχει βρεθεί πως συγκεντρώσεις Cl^- μεγαλύτερες των 80 mM προκαλούν φωτοσυνθετικές βλάβες, οι οποίες σχετίζονταν με μορφολογικές αλλαγές των φύλλων, μείωση της ανάπτυξης και λιγότερα ανοικτά στομάτια με αποτέλεσμα ορατή και μη αναστρέψιμη καταστροφή των φύλλων όπως απώλεια υγρασίας και μάρανση (Bongji & Loreto, 1989). Έχει αναφερθεί πως υψηλή πρόσληψη NaCl ανταγωνίζεται την πρόσληψη άλλων θρεπτικών ιόντων όπως του καλίου (K^+), προκαλώντας ανεπάρκεια του συγκεκριμένου στοιχείου στα φυτά. Κάτω από αυτές τις συνθήκες λοιπόν, μειώνεται η απόδοση ανά φωτόνιο της φωτοσυνθετικής έκλυσης οξυγόνου ως αποτέλεσμα δυσλειτουργίας του συμπλόκου φωτόλυσης του νερού του φωτοσυστήματος II (Parida *et al.*, 2005).

Σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας, το συνολικό περιεχόμενο των χλωροφυλλών και καροτενοειδών των φύλλων μειώνεται. Τα παλαιότερα φύλλα αρχίζουν να εμφανίζουν χλώρωση και αποβάλλονται από το φυτό μετά από παρατεταμένη περίοδο έντονης καταπόνησης. Παρόλα αυτά, κάτω από συνθήκες αλατότητας, έχει αναφερθεί αύξηση του περιεχομένου των χλωροφυλλών στο φυτό *Amaranthus* ενώ στη *Grevilea* και στη *Buddleja parviflora* οι χλωροφύλλες (Chl-a και Chl-b) και τα καροτενοειδή των φύλλων μειώθηκαν σημαντικά (Parida *et al.*, 2005).

Μετά από βραχυπρόθεσμη ή μακροπρόθεσμη έκθεση φυτών σε συνθήκες αλατότητας η αφομοίωση του CO₂ είναι περιορισμένη λόγω της συσσώρευσης των αλάτων στην επιφάνεια των φύλλων (Parida *et al.*, 2005). Ο περιορισμός της διάχυσης του CO₂ στους χλωροπλάστες εντείνεται από την επίδραση των αλάτων μέσω περιορισμού του ανοίγματος των στοματίων και μεταφοράς του στο μεσόφυλλο προκαλώντας μεταβολές στη φωτοχημεία των φύλλων και στο μεταβολισμό του άνθρακα. Οι επιπτώσεις αυτές ποικίλουν σύμφωνα με την ένταση και τη διάρκεια της καταπόνησης καθώς και με την ηλικία των φύλλων (τα παλαιότερα φύλλα επηρεάζονται περισσότερο από τη συσσώρευση υψηλών συγκεντρώσεων αλάτων) και το φυτικό είδος (Chaves *et al.*, 2009). Ποικίλες αναφορές υπάρχουν για εκδήλωση καταστολής της φωτοσύνθεσης κάτω από συνθήκες υψηλής αλατότητας ενώ άλλες αναφέρουν ότι η διαδικασία επιβραδύνεται από την αλατότητα ή διεγείρεται από χαμηλή συγκέντρωση αλάτων. Στα περισσότερα φυτά αναφέρεται χαμηλό ποσοστό αφομοίωσης CO₂, χαμηλός ρυθμός στοματικής αγωγιμότητας (g_s) και διαπνοής (E) υπό συνθήκες έντονης καταπόνησης λόγω αλατότητας (π.χ. *Buddleja parviflora*, *Atriplex lentiformis*, *Morus alba*).

5.3.2.2. Μείωση του ρυθμού διαπνοής και της στοματικής αγωγιμότητας

Η επίδραση των αλάτων στα φυτά επιφέρει αξιοσημείωτη δυσλειτουργία των στοματίων των φύλλων, περιορισμό της διαθεσιμότητας του CO₂ μέσω αυτών και συνεπώς μείωση της στοματικής αγωγιμότητας και της ανταλλαγής αερίων μεταξύ φυτού και περιβάλλοντος. Σε άλλη περίπτωση, το NaCl μπορεί να αναστείλει το άνοιγμα των στοματίων (Sánchez-Blanco *et al.*, 2004) με αποτέλεσμα να μειώνεται ο ρυθμός διαπνοής των φύλλων και η απώλεια νερού από τα φύλλα και να προκαλούνται αλλαγές στη δραστηριότητα των χλωροπλαστών (Parida *et al.*, 2005). Ο βαθμός στον οποίο το κλείσιμο των στοματίων επηρεάζει τη φωτοσυνθετική ικανότητα εξαρτάται από το μέγεθος της μερικής πίεσης του CO₂ στο εσωτερικό του φύλλου. Υπάρχουν επίσης αναφορές για αναστολή της φωτοσύνθεσης κάτω από συνθήκες υψηλής αλατότητας η οποία οφείλεται σε διάφορους μηχανισμούς πέρα από τη λειτουργία των στοματίων. Αυτό συμβαίνει λόγω της αυξημένης αντίστασης στη διάχυση του CO₂ από το τοίχωμα του μεσοφύλλου στους χλωροπλάστες (Parida *et al.*, 2005).

5.3.2.3. Μεταβολές στο οσμωτικό δυναμικό

Με την αύξηση των επιπέδων αλατότητας, παρατηρείται πτώση του υδατικού και οσμωτικού δυναμικού των φυτών ενώ οι πιέσεις σπαργής αυξάνονται. Συνεπώς μειώνεται σημαντικά ο ρυθμός της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας τόσο από την ολική συγκέντρωση των αλάτων όσο και από τη σύσταση των ιόντων (Parida *et al.*, 2005). Η πτώση του οσμωτικού δυναμικού οδηγεί σε απώλεια σπαργής, κλείσιμο των στοματίων και ακολουθείται από μείωση ανταλλαγής αερίων και πτώση του ρυθμού φωτοσύνθεσης (Shannon, 1997). Στα είδη *Chrysanthemum* sp. και *Aster tripolium* L., το οσμωτικό δυναμικό των φύλλων μειώνεται με την αύξηση των συγκεντρώσεων NaCl. Σε φυτά γιούτας, κάτω από συνθήκες βραχυπρόθεσμης καταπόνησης από NaCl, έχει παρατηρηθεί μικρή σχετική περιεκτικότητα σε νερό (χαμηλές τιμές RWC), χαμηλό υδατικό δυναμικό των φύλλων, περιορισμένη πρόσληψη νερού και χαμηλός ρυθμός διαπνοής (Parida *et al.*, 2005).

5.4. Μηχανισμοί ανθεκτικότητας και προσαρμογής των φυτών στην αλατότητα

Τα φυτά προκειμένου να ανταποκριθούν στον παράγοντα της αλατότητας έχουν αναπτύξει μηχανισμούς αντοχής σε αυτήν οι οποίοι βασίζονται σε παράγοντες όπως η συσσώρευση ιόντων, ο αποκλεισμός ιόντων, η παραγωγή οργανικών διαλυμένων ουσιών, η καθυστέρηση στην ωρίμανση και η στειρότητα της γύρης (Shannon, 1997).

Κάτω από συνθήκες καταπόνησης αλάτων, ένα φυτό πρέπει να έχει ιοντική εκλεκτικότητα, δηλαδή να αφομοιώνει τα θρεπτικά στοιχεία και να περιορίζει την πρόσληψη τοξικών ιόντων σε χαμηλότερο δυναμικό νερού από το συνηθισμένο. Φυτά τα οποία διαθέτουν μηχανισμούς διάκρισης όμοιων χημικά ιόντων (π.χ. Na⁺ και K⁺) είναι περισσότερο ανθεκτικά στην αλατότητα από άλλα φυτά τα οποία δεν περιορίζουν τη συσσώρευση ιόντων γεγονός που οδηγεί σε απώλεια της ιοντικής ομοιόστασης. Τα μανκρόβια φυτά αναμφισβήτητα έχουν το πιο αποτελεσματικό σύστημα περιορισμού πρόσληψης αλάτων μέσω της ανάπτυξης ενός παθητικού ριζικού συστήματος με φίλτρα. Για παράδειγμα το *Avicennia marina* μπορεί να αποκλείσει το 90% των αλάτων στο μέσο που περιβάλλει τις ρίζες του (Shannon, 1997). Άλλα καλλιεργούμενα είδη, είναι ικανά να απαλλαγούν από τα ιόντα μέσω οργανιδίων απομόνωσης ιόντων (π.χ. αδένες αλάτων) ή αποθηκεύοντας τα άλατα στο

ριζικό τους σύστημα, σε παλιά φύλλα, μίσχους ή στελέχη. Σε αλατούχα περιβάλλοντα, μερικά φυτά αποτρέπουν την είσοδο αλάτων είτε με μετακίνησή τους στις ρίζες, είτε με αποκλεισμό από τις ρίζες ή/και τα φύλλα τους (Zurayk *et al.*, 1993). Επίσης, άλλα έχουν την ικανότητα να μειώνουν τη συγκέντρωσή τους στο κυτταρόπλασμα κατανέμοντας το αλάτι στον αποπλαστικό χώρο και αποτρέποντας τις τοξικές επιπτώσεις στη φωτοσύνθεση και σε άλλες μεταβολικές διαδικασίες (Chaves *et al.*, 2009). Αυτοί οι μηχανισμοί αποτελούν στρατηγικές, οι οποίες επιτρέπουν στα φυτά να επιβιώσουν και να αναπτυχθούν κάτω από συνθήκες αλατότητας.

Ο περιορισμός της συσσώρευσης των ιόντων στις ρίζες ή τους βλαστούς αποτελεί μια από τις πιο συχνά αναφερόμενες διαφορές μεταξύ ανθεκτικών και ευαίσθητων φυτικών ειδών. Είναι γνωστό πως τα αλόφυτα (π.χ. ζαχαροκάλαμο) προσλαμβάνουν υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων, για να προσαρμοστούν σε αλατούχα περιβάλλοντα, και μπορούν να συσσωρεύσουν τα άλατα κατά προτίμηση στα παλιά φύλλα ή στελέχη.

Η ικανότητα οσμωρύθμισης και η διατήρηση υψηλού υδατικού δυναμικού των κυττάρων αποτελούν μηχανισμούς που μπορούν να βελτιώσουν την ανθεκτικότητα κάποιων καλλιεργούμενων ειδών (π.χ. καλαμπόκι, φασόλι, κρεμμύδι, κριθάρι κ.ά.) στην αλατότητα. Η οσμωρύθμιση συνίσταται στην παραγωγή οργανικών διαλυτών ουσιών όπως σάκχαρα, πολυόλες, αμινοξέα, κ.ά., συνεισφέροντας στην οσμωτική ισορροπία ενώ παράλληλα διατηρεί τη δραστηριότητα των ενζύμων παρουσία τοξικών ιόντων. Άλλοι μηχανισμοί πρόληψης της απώλειας σπαργής και της καλύτερης αξιοποίησης του νερού είναι η αυξημένη αντίσταση των φύλλων (λιγότερα στομάτια, αυξημένη αντίσταση μεσοφύλλου και παχιά επιδερμίδα και εφυμενίδα) και η υψηλή αναλογία ρίζας/βλαστού (Shannon, 1997).

Ωστόσο και οι ανατομικές και μορφολογικές διαφορές των φύλλων μεταξύ των ειδών μπορεί να σχετίζονται με την απόκρισή τους στην αλατότητα όταν εκτίθενται σε αυτή. Διαφορετική διαπερατότητα στην επιδερμίδα των φύλλων και διαφορετικό μέγεθος επιφάνειας φύλλου μπορεί να περιορίσουν τα ποσοστά πρόσληψης αλάτων και απώλειας νερού από τα φύλλα των φυτών. Για παράδειγμα, το *Cistus albidus* L. διαθέτει μεγαλύτερο μέγεθος φύλλων ενώ το *C. monspeliensis* διαθέτει αδενώδεις τρίχες (Sánchez-Blanco *et al.*, 2004). Χαρακτηριστικά γνωρίσματα των φύλλων όπως η ασημόχρωη απόχρωση του φυλλώματος που

οφείλεται στο λευκό χνούδι που δημιουργείται και το κηρώδες επίχρισμα παγιδεύουν τα άλατα προστατεύοντας το σαρκώδες μέρος του φύλλου. Η ανθεκτικότητα άλλων φυτών σε αντίξοα περιβάλλοντα και ιδιαίτερα στα υδροσταγονίδια της θάλασσας μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι τα στομάτια βρίσκονται στην αποαξονική επιφάνεια των φύλλων τους και τοποθετημένα σε εγκοιλώσεις της επιφάνειας (κρύπτες) οι οποίες καλύπτονται από τρίχωμα όπως στο *Nerium oleander* με αποτέλεσμα να μην εισέρχεται το αλάτι στο εσωτερικό του φύλλου (Καραμπουρνιώτης *et al.*, 2012).

Όλοι αυτοί οι μηχανισμοί αντοχής στην αλατότητα μπορούν να είναι αποτελεσματικοί ανάλογα με το φυτικό είδος και το στάδιο ανάπτυξής στο οποίο βρίσκεται αυτό.

6. Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index, LAI)

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) είναι απαραίτητος προκειμένου να εκτιμηθεί το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας (m^2 φυλλικής επιφάνειας / m^2 επιφάνειας εδάφους). Οι τιμές που λαμβάνει κυμαίνονται από 0 (γυμνό έδαφος) σε πάνω από 10 (πυκνά δάση κωνοφόρων) (Δ5). Ο δείκτης LAI ουσιαστικά περιγράφει το μέγεθος της ανάπτυξης μιας φυτοκοινωνίας και λειτουργεί ως βασικός δείκτης για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών ανάπτυξης μίας καλλιέργειας.

Στις ετήσιες καλλιέργειες, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας αυξάνεται εκθετικά κατά την περίοδο της έντονης ανάπτυξης των φυτών, αποκτά μια μέγιστη τιμή κατά την περίοδο της άνθησης και ακολούθως υφίσταται μείωση στο διάστημα πριν από το τέλος της καλλιέργειας, που οφείλεται στη γήρανση και στη σταδιακή πτώση των μεγαλύτερων σε ηλικία φύλλων των φυτών της καλλιέργειας (Watson, 1958). Η μέγιστη τιμή του LAI καθορίζεται από την πυκνότητα της καλλιέργειας, που ρυθμίζεται από την πυκνότητα της φύτευσης, από τη λίπανση και τους καλλιεργητικούς χειρισμούς (Καραμάνος, 1993).

Σε φυσικά οικοσυστήματα και φυτοκοινωνίες, ο LAI αυξάνει κατά τρόπο που εξαρτάται από το ισοζύγιο του νερού, την επάρκεια σε θρεπτικά συστατικά, την κατανομή του φωτός μέσα στη φυτική κόμη και μια σειρά από άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες (π.χ θερμοκρασία).

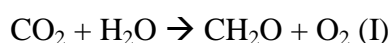
Πέρα από τη μεταβολή του με το χρόνο, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας μιας καλλιέργειας μεταβάλλεται και κατά τη διάσταση του ύψους της φυτικής κόμης. Ο υπολογισμός αυτών των μεταβολών είναι πολύ χρήσιμος στον υπολογισμό της κατανομής της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στη φυτική κόμη και περαιτέρω για τον προσδιορισμό παραμέτρων της δομής της (Λιάπη, 2006).

Από όσα αναφέρθησαν παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας αντανακλά σε μεγάλο βαθμό την πραγματική παραγωγική ικανότητα, δηλαδή την απόδοση μιας καλλιέργειας. Η γνώση των μεταβολών του δείκτη, καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας, αποτελεί ένα μέτρο της παραγωγικότητάς της, καθώς και έναν τρόπο για την κατανόηση και παρακολούθηση οντογενετικών αλλαγών και χαρακτηριστικών ανάπτυξης.

7. Φωτοσύνθεση

7.1. Η σημασία της φωτοσύνθεσης

Η φωτοσύνθεση είναι η διαδικασία μέσω της οποίας οι φυτικοί αυτότροφοι οργανισμοί έχουν τη δυνατότητα να συνθέτουν οργανικές ενώσεις από πρόδρομα ανόργανα συστατικά. Η απαιτούμενη εισροή ενέργειας για τη σύνθεση των οργανικών ουσιών παρέχεται από την ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή με τη μορφή φωτονίων, τα οποία απορροφώνται από τη χλωροφύλλη (Αϊβαλάκης *et al.*, 2005). Η ενέργεια αποθηκεύεται με τη μορφή υψηλού ενεργειακού περιεχομένου σταθερών χημικών ενώσεων (ATP και NADPH). Η αποθηκευμένη ενέργεια χρησιμοποιείται στη συνέχεια σε όλες τις μεταβολικές διαδικασίες σύνθεσης, ενώ το μεγαλύτερο μέρος της χρησιμοποιείται για να δεσμευτεί το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας και να αναχθεί ως το επίπεδο του υδατάνθρακα, ενώ στη διάρκεια της διαδικασίας αυτής το μόριο του νερού διασπάται και εκλύεται μοριακό οξυγόνο ως παραπροϊόν. Αυτή η συνοπτική χημική αντίδραση είναι η διαδικασία της φωτοσύνθεσης και συνοψίζεται ως εξής:



Η βασική αντίδραση (I) είναι ισχυρά ενδεργονική καθώς απαιτεί μεγάλη δαπάνη ενέργειας για κάθε mole εξόζης που σχηματίζεται και εμπεριέχει πολυάριθμες επί μέρους αντιδράσεις ώστε να παραχθούν τα τελικά φωτοσυνθετικά προϊόντα, τα οποία φέρουν περισσότερη ενέργεια από τα αρχικά μόρια CO_2 και H_2O . Η ενεργοβόρα αυτή μετατροπή δεν θα ήταν δυνατόν να ολοκληρωθεί χωρίς την αξιοποίηση της ενέργειας της φωτεινής ακτινοβολίας.

Η φωτοσυνθετική διαδικασία είναι ζωτικής σημασίας σε πλανητικό επίπεδο αφού καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες σύνθεσης και συντήρησης όχι μόνο των φωτοαυτότροφων οργανισμών-παραγωγών, αλλά έμμεσα και τις ανάγκες των ετερότροφων οργανισμών-καταναλωτών. Επομένως αποτελεί και τη μοναδική πύλη εισόδου ενέργειας στη βιόσφαιρα. Εκτός αυτών, η φωτοσυνθετική δραστηριότητα εμπλουτίζει συνεχώς με μοριακό οξυγόνο την ατμόσφαιρα το οποίο είναι απαραίτητο για την αναπνοή όλων των αερόβιων οργανισμών. Συνεπώς, όλες οι μορφές ζωής στον πλανήτη εξαρτώνται άμεσα ή έμμεσα από τη φωτοσύνθεση, ως πηγή ενέργειας για το μεταβολισμό και την ανάπτυξή τους (Richmond, 2004).

Η αξιοποιήσιμη μορφή φωτεινής ακτινοβολίας για την πραγματοποίηση της φωτοσύνθεσης είναι τα μήκη κύματος ορατού φωτός. Η ακτινοβολία αυτή ονομάζεται φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία (Photosynthetically Active Radiation, PAR) και περιλαμβάνει την περιοχή μεταξύ 400 και 700 nm του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

7.2. Η φυσιολογία της φωτοσύνθεσης

Στα ανώτερα φυτά, τα φύλλα και ιδιαίτερα οι ανώτερες στοιβάδες του μεσοφύλλου αποτελούνται από εξειδικευμένα κύτταρα στα οποία επιτελείται η φωτοσυνθετική λειτουργία. Τα φωτοσυνθετικά κύτταρα περιλαμβάνουν ένα μεγάλο αριθμό εξειδικευμένων για την επιτέλεση της φωτοσύνθεσης υποκυτταρικών οργανιδίων, τα οποία ονομάζονται χλωροπλάστες.

Η απλή αντίδραση της φωτοσύνθεσης εμπεριέχει πολυάριθμες επί μέρους αντιδράσεις και μηχανισμούς που συνεργάζονται μεταξύ τους αρμονικά και αποδοτικά με αποτέλεσμα την παραγωγή των τελικών φωτοσυνθετικών προϊόντων. Η όλη διαδικασία μπορεί να ολοκληρωθεί σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση διεξάγονται οι λεγόμενες *φωτεινές αντιδράσεις ή φωτοαντιδράσεις* (φωτεινή φάση), οι οποίες πραγματοποιούνται πάνω στις μεμβράνες των θυλακοειδών στρωμάτων των χλωροπλαστών (grana) και απαιτούν την παρουσία φωτισμού. Αυτές οι αντιδράσεις περιλαμβάνουν τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε χημική υπό τη μορφή σταθερών χημικών ενώσεων με υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο, του NADPH και του ATP. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, μόρια νερού φωτολύονται (διασπώνται) και παράγουν ηλεκτρόνια και πρωτόνια καθώς και μοριακό οξυγόνο, το παραπροϊόν της φωτοσύνθεσης (Αϊβαλάκης *et al.*, 2005).

Στη δεύτερη φάση λαμβάνουν χώρα οι *σκοτεινές αντιδράσεις* (σκοτεινή φάση), οι οποίες διαδραματίζονται πάνω στο στρώμα των χλωροπλαστών και δεν απαιτούν άμεσα την ύπαρξη φωτισμού. Η σκοτεινή φάση περιλαμβάνει καθαρά βιοχημικές αντιδράσεις στις οποίες η ενέργεια που έχει ενσωματωθεί στα NADPH και ATP, τα οποία παράγονται κατά τις φωτεινές αντιδράσεις, καταναλώνεται για την αναγωγή του CO₂ και τελικώς για τη βιοσύνθεση οργανικών ενώσεων (υδατανθράκων).

Τα φύλλα ταυτόχρονα με τις παραπάνω ενεργειακές και βιοχημικές αντιδράσεις επιτελούν και άλλες λειτουργίες όπως η αναπνοή, η διαπνοή κλπ. και

επιπλέον διαθέτουν κατάλληλους μηχανισμούς άμυνας και ποικίλα μορφολογικά χαρακτηριστικά, ανάλογα με το είδος του φυτού.

7.3. Η σημασία του φθορισμού της χλωροφύλλης a στη μελέτη της φωτοσύνθεσης

Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί συλλέγουν την ενέργεια της φωτεινής ακτινοβολίας με τη βοήθεια χρωστικών ουσιών, οι οποίες ονομάζονται φωτοσυνθετικές χρωστικές. Αυτές κατατάσσονται σε δύο ομάδες, τις χλωροφύλλες και τα καροτενοειδή, λιπόφιλα μόρια με μέγιστα απορρόφησης σε περιοχές της ορατής ακτινοβολίας. Τα μόρια αυτά βρίσκονται βυθισμένα στα θυλακοειδή των χλωροπλαστών υπό μορφή συμπλόκων με πρωτεΐνες.

Στις φωτοχημικές αντιδράσεις, η ενέργεια των φωτονίων της ορατής περιοχής του φάσματος επαρκεί για να προκαλέσει τις λεγόμενες μεταπτώσεις των ηλεκτρονίων των εξώτατων συνήθως ηλεκτρονιακών στοιβάδων σε τροχιές με υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο σε ορισμένα μόρια-στόχους (διέγερση μορίων). Τα διεγερμένα μόρια έχουν την τάση να επανέλθουν στην αρχική σταθερή τους κατάσταση αποδίδοντας την ενέργεια που απορροφήθηκε (αποδιέγερση μορίων). Η απόδοση της ενέργειας διέγερσης του μορίου της χλωροφύλλης πραγματοποιείται με τρεις διαφορετικές οδούς: (α) φωτοχημικές αντιδράσεις, στις οποίες περιλαμβάνεται η φωτόλυση του νερού και η ροή ηλεκτρονίων προς διάφορους αποδέκτες (φωτοχημική απόσβεση) (β) απόσβεση της πλεονάζουσας ενέργειας των διεγερμένων μορίων υπό τη μορφή θερμικών απωλειών (μη-φωτοχημική απόσβεση) και (γ) επανεκπομπή της ενέργειας διέγερσης με τη μορφή ακτινοβολίας (απόδοση του φθορισμού). Όταν η ένταση της ακτινοβολίας διέγερσης είναι σταθερή, η απόδοση του φθορισμού μεταβάλλεται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της φωτοχημικής και μη φωτοχημικής απόσβεσης. Συνεπώς, μελετώντας την απόδοση του εκπεμπόμενου φθορισμού είναι δυνατή η λήψη πληροφοριών για τις μεταβολές στην απόδοση της φωτοχημικής και μη-φωτοχημικής απόσβεσης της ενέργειας (Maxwell & Johnson, 2000). Επίσης, αλλαγές στον τρόπο διοχέτευσης της ενέργειας έχουν ως αποτέλεσμα αλλαγές στα επίπεδα εκπομπής του φθορισμού. Ερμηνεύοντας τις αλλαγές αυτές μπορούμε να υπολογίσουμε τη φωτοχημική και τη μη φωτοχημική συνιστώσα της απόσβεσης της ενέργειας του φωτοσυστήματος II.

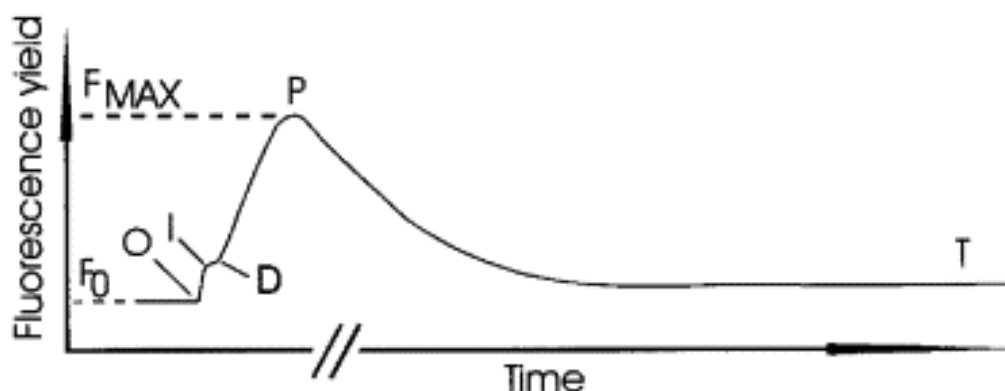
Οι χλωροφύλλες στους φωτοσυνθετικούς ιστούς εντοπίζονται στα δύο κέντρα αντίδρασης των φωτοσυστημάτων PSII και PSI, στα οποία πραγματοποιούνται οι φωτεινές αντιδράσεις. Σε θερμοκρασία δωματίου ο φθορισμός που εκπέμπεται από έναν φωτοσυνθετικό ιστό (π.χ. φύλλο, πράσινο βλαστό κλπ.) προέρχεται στο μεγαλύτερο ποσοστό του από τα μόρια της χλωροφύλλης *a* της φωτοσυλλεκτικής αντένας του φωτοσυστήματος II (PSII) (Καραμπουρνιώτης *et al.*, 2012; Govindjee, 1995). Συνεπώς, ο τρόπος λειτουργίας των φωτοσυστημάτων αλλάζει την απόδοση του φθορισμού των μορίων της χλωροφύλλης (Govindjee, 1995). Τόσο οι φωτοχημικές αντιδράσεις όσο και οι υπόλοιποι μηχανισμοί διοχέτευσης της ενέργειας δρουν ανταγωνιστικά μεταξύ τους και ακόμα ανταγωνιστικά με την απόδοση του φθορισμού. Συνεπώς, τα επίπεδα εκπομπής φθορισμού μεγιστοποιούνται όταν μειώνεται η φωτοχημική απόσβεση (φωτοσυνθετική ροή ηλεκτρονίων) ή / και όταν μειώνεται η μη-φωτοχημική απόσβεση. Έτσι, η φωτοχημική αλυσίδα μεταφοράς ηλεκτρονίων και όλες οι άλλες μη-φωτοχημικές οδοί διοχέτευσης της ενέργειας, οι οποίες επίσης αποσβένουν τα επίπεδα του φθορισμού, αναφέρονται υπό όρους απόσβεσης του φθορισμού, δηλαδή ως φωτοχημική απόσβεση του φθορισμού (Photochemical Quenching, qP) και ως μη-φωτοχημική απόσβεση του φθορισμού (Non-Photochemical Quenching, qN και NPQ).

Η βασική αρχή της ανάλυσης του φθορισμού της χλωροφύλλης είναι απλή και αποτελεί μία ευρέως διαδεδομένη τεχνική στη φυσιολογία των φυτών. Μέσω της μελέτης του φθορισμού της χλωροφύλλης αντλούμε πληροφορίες για τον τρόπο διαχείρισης της ενέργειας διέγερσης στα φωτοσυστήματα, για την εκτίμηση πλήθους φωτοχημικών παραμέτρων του PSII και τελικά για την ομαλή πορεία της φωτοσύνθεσης, καθώς η λειτουργία του φωτοσυστήματος II σχετίζεται άμεσα με τη φωτοσυνθετική αφομοίωση του CO₂ και την αναγωγή του μοριακού οξυγόνου σε νερό (φωτονιακή απόδοση της φωτοσύνθεσης). Περαιτέρω, ο εκπεμπόμενος φθορισμός της χλωροφύλλης από το PSII αποτελεί ένα σημαντικό κριτήριο για το βαθμό καταπόνησης ενός φωτοσυνθετικού οργανισμού εξαιτίας μιας πληθώρας δυσμενών παραγόντων του περιβάλλοντος όπως η έντονη ηλιακή ακτινοβολία, οι τροφοπενίες και τοξικότητες, η υδατική καταπόνηση, η αλατότητα κ.α.

7.4. Μελέτη των φωτοσυνθετικών παραμέτρων μέσω της *in vivo* τεχνικής φθορισμομετρίας της χλωροφύλλης

Η συνήθη τεχνική της φθορισμομετρίας της χλωροφύλλης αποσκοπεί στον υπολογισμό των παραμέτρων του εκπεμπόμενου φθορισμού που αναφέρθηκαν παραπάνω και επιπλέον δύο βασικών: αυτού της θεμελιώδους φωτοχημικής απόδοσης της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSII_0}) και αυτού της λειτουργικής φωτοχημικής ικανότητας του PSII (Φ_{PSII}).

Εάν σε ένα δείγμα προσαρμοσμένο στο σκοτάδι (dark adapted) εφαρμόσουμε ακτινοβολία μέτρησης (Measuring Light, ML) θα καταγράψουμε το «φθορισμό βάσης» (F_0). Η μέτρηση της φωτοσυνθετικής απόδοσης πραγματοποιείται με την εφαρμογή ενός παλμού κορεσμού (Saturation Pulse, SP) όπου όλα τα φωτοσυστήματα κλείνουν με αποτέλεσμα την απότομη άνοδο του φθορισμού στην ανώτατη δυνατή τιμή (μέγιστος φθορισμός, F_m) δεδομένου πως η διάρκεια και η ένταση του παλμού κορεσμού είναι αρκετή. Η παράμετρος Φ_{PSII_0} αντιστοιχεί στο λόγο του μεταβλητού προς τον μέγιστο φθορισμό (F_v/F_m). Ο μεταβλητός φθορισμός (F_v) αντιπροσωπεύει το μέγιστο δυνατό ποσοστό ενέργειας, το οποίο μπορεί να μετατραπεί σε φωτοχημικό έργο ($F_m - F_0$).



Εικόνα 8 Χαρακτηριστική καμπύλη Kautsky επαγωγής του φθορισμού μετά από παραμονή στο σκοτάδι. Οι τιμές των παραμέτρων φθορισμού αποτυπώνονται ως F_0 και F_m στο σημείο P. Από το σημείο P έως το σημείο T ακολουθεί η αργή απόσβεση του φθορισμού και δεν παρατηρούνται μεταβολές στην ένταση.

Πηγή: Tyystjärvi *et al.*, 1999

Η παύση του παλμού κορεσμού έχει ως συνέπεια την πτώση του φθορισμού λόγω φωτοχημικής απόσβεσης και η εκπομπή φθορισμού επανέρχεται ταχέως στα επίπεδα του F_0 , απουσία ακτινικού φωτός, καθώς όλα τα φωτοσυστήματα έχουν ξανά οξειδωθεί. Η παραπάνω διαδικασία επαγωγής του φθορισμού ακολουθεί

χαρακτηριστική κινητική που ονομάζεται φαινόμενο ή καμπύλη Kautsky (Εικ. 8). Η θεμελιώδης φωτοχημική ικανότητα του PSII αποτελεί τον πλέον διαδεδομένο δείκτη ύπαρξης βλαβών από καταπονήσεις που σχετίζονται με τη φωτοσύνθεση και την ακεραιότητα των δομικών και βιοχημικών στοιχείων των χλωροπλαστών όπως είναι οι τοξικότητες, οι τροφοπενίες, η υψηλή αλατότητα, το ψύχος κλπ.

Η μέτρηση του φθορισμού σε ένα δείγμα υπό σταθερές συνθήκες φωτισμού (συγκεκριμένη ένταση ακτινικού φωτός) παρέχει την παράμετρο της λειτουργικής φωτοχημικής απόδοσης του φωτοσυστήματος II (Φ_{PSII}). Ουσιαστικά, η παράμετρος αυτή περιγράφει την πιθανότητα ένα φωτόνιο που απορροφήθηκε από το PSII, να οδηγήσει στην προώθηση ενός ηλεκτρονίου στη φωτοχημική αλυσίδα (White & Critchley, 1999). Σε αυτή την περίπτωση, η τελική σταθεροποίηση των επιπέδων του φθορισμού δε γίνεται το ίδιο γρήγορα και ούτε στα επίπεδα του F_0 , αλλά σταθεροποιείται σε μία τιμή (F_s).

Λαμβάνοντας υπ' όψη τη φωτοχημική απόδοση του PSII (Φ_{PSII}) και την απορροφητικότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (PAR) σε συνδυασμό με τη φωτοσυνθετική ροή ηλεκτρονίων μπορεί να υπολογιστεί ο φαινόμενος ρυθμός ροής ηλεκτρονίων (ETR) στη φωτοχημική αλυσίδα μεταξύ των δύο φωτοσυστημάτων (I και II). Η παράμετρος αυτή είναι χρήσιμη καθώς, κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, είναι ανάλογη του ρυθμού φωτοσυνθετικής αφομοίωσης του CO_2 (Logan *et al.*, 2007). Ωστόσο, υπό συνθήκες καταπόνησης (π.χ. χαμηλές ή υψηλές θερμοκρασίες), μπορεί να παρατηρηθεί απόκλιση στη σχέση μεταξύ των δύο αυτών παραμέτρων λόγω άλλων διεργασιών πλην της αφομοίωσης του CO_2 (Fryer *et al.*, 1998).

Ο μηχανισμός της μη-φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης (Non-Photochemical Quenching, NPQ) είναι μια διαδικασία μέσω της οποίας η φωτεινή ακτινοβολία διαχέεται μέσω θερμικών απωλειών και κυρίως μέσω του κύκλου των ξανθοφυλλών, και απαιτεί την ύπαρξη χαμηλού pH στο εσωτερικό των θυλακοειδών με σκοπό την παραγωγή της ζεαξανθίνης (ξανθοφύλλη) μέσω φωτοεπαγωγής (Niyogi, 2000). Με τον τρόπο αυτό, μειώνεται η ενεργειακή πίεση στα κέντρα αντίδρασης των φωτοσυστημάτων με σκοπό την αποτροπή της φωτοαναστολής λόγω βλάβης στα σύμπλοκα φωτοσυνθετικής και τα κέντρα αντίδρασης των φωτοσυστημάτων (Szabo *et al.*, 2005).

Ένας άλλος δείκτης, ο συντελεστής μη-φωτοχημικής απόσβεσης, qN, επίσης χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ενέργειας η οποία αποσβένεται μη-φωτοχημικά και σχετίζεται με τη διαχείριση της πλεονάζουσας ενέργειας στα φωτοχημικά κέντρα

του φωτοσυστήματος II με σκοπό την προστασία τους από φωτοοξειδώσεις. Ο συντελεστής qN αποτελεί έναν ποιοτικό δείκτη, ο οποίος περιλαμβάνει το σύνολο των παραμέτρων που αφορούν στη μη-φωτοχημική απόδοση του φθορισμού της χλωροφύλλης a (Chla), η οποία επάγεται υπό σταθερές συνθήκες φωτισμού, και μπορεί να αναλυθεί μέσω τριών συνιστωσών: κατάσταση μετάβασης (state transition, qT), ενεργειακά εξαρτώμενη απόσβεση (energy-dependent quenching, qE) και φωτοαναστολή των κέντρων αντίδρασης (photoinhibitory quenching, qI) (Walters & Horton, 1991). Τέλος, ο συντελεστής qP, υποδηλώνει το μέγεθος της μείωσης του φθορισμού της χλωροφύλλης λόγω φωτοχημικού έργου και κατά συνέπεια το ποσοστό οξείδωσης της φωτοχημικής αλυσίδας και ισοδύναμο με το ποσοστό των ανοικτών κέντρων του PSII.

Σε συνθήκες έντονου φωτισμού του δείγματος, όπου τα φωτοχημικά κέντρα αντίδρασης του PSII είναι κλειστά (Καραμπουρνιώτης *et al.*, 2012), η φωτοχημική απόδοση του φωτοσυστήματος II (Φ_{PSII}) και η συνιστώσα της φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού του PSII (qP), μειώνονται αυξανόμενης της έντασης της ακτινοβολίας μέχρι το επίπεδο κορεσμού, και μάλιστα περισσότερο στα φύλλα των καταπονημένων φυτών. Αυτό συμβαίνει διότι η φωτοσυνθετική συσκευή είναι τόσο περισσότερο φωτοκορεσμένη, όσο αυξάνεται η προσφορά ενέργειας. Έτσι λοιπόν, αυξάνεται το ποσοστό των «κλειστών – ανηγμένων» φωτοχημικών κέντρων και συνεπώς μειώνεται η ικανότητα αξιοποίησης της ενέργειας ανά φωτόνιο. Επιπλέον στα καταπονημένα φυτά μειώνεται ακόμα περισσότερο διότι η δυνατότητα αξιοποίησης της ενέργειας για την παραγωγή φωτοχημικού κέντρου είναι σημαντικά μειωμένη. Καθώς δεν υπάρχει αξιόλογη κατανάλωση της παραγόμενης ενέργειας στη φωτοσυνθετική αφομοίωση, οι φωτοχημικές αντιδράσεις διεξάγονται με μειωμένο ρυθμό.

Αντίθετα, αυξανόμενης της έντασης της ακτινοβολίας, η συνιστώσα της μη-φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού του PSII (qN), αυξάνει, και πολύ περισσότερο στα φύλλα των καταπονημένων φυτών, και σε συνδυασμό με τη μείωση της συγκέντρωσης των «ανοικτών-οξειδωμένων» φωτοχημικών κέντρων του PSII, η προσφερόμενη ενέργεια δεν αξιοποιείται επαρκώς, μειώνεται η φωτονιακή απόδοση της ροής ηλεκτρονίων στα φύλλα με αποτέλεσμα να αυξάνεται το πλεόνασμα της ενέργειας και η ενέργεια να διαχέεται μέσω άλλων μορφών απωλειών (κύκλος ξανθοφυλλών) (Genty *et al.*, 1990).

7.5. Ο μηχανισμός της ανταλλαγής των αερίων. Είσοδος CO₂, διαδικασία διαπνοής και στοματική αγωγιμότητα

Αναπόφευκτη συνέπεια της ανάγκης των φυτών για την αφομοίωση του CO₂ της ατμόσφαιρας είναι η λειτουργία της διαπνοής δηλαδή της εξάτμισης νερού με τη μορφή υδρατμών από την επιφάνεια των φύλλων μέσω των στοματίων (Αϊβαλάκης *et al.*, 2005). Τα στομάτια αποτελούν μικροσκοπικούς πόρους στην επιδερμίδα των φύλλων και περικλείονται από εξειδικευμένα κύτταρα, τα επονομαζόμενα καταφρακτικά κύτταρα. Η διάταξη των καταφρακτικών κυττάρων δημιουργεί το στοματικό πόρο και μαζί συνιστούν το στομάτιο. Η φυσιολογική σημασία των στοματίων είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς με το ενεργό άνοιγμα και κλείσιμο των πόρων τους ελέγχεται η ανταλλαγή των αερίων CO₂, O₂ και H₂O μεταξύ του φυτού και του εναέριου περιβάλλοντος. Μέσω αυτής της διαδικασίας παρέχονται τα απαραίτητα υποστρώματα για τις λειτουργίες της φωτοσύνθεσης και της αναπνοής.

Κατά το άνοιγμα των στοματίων, με την πρόσληψη CO₂ λαμβάνει χώρα έξοδος υδρατμών από το εσωτερικό των φύλλων προς την ατμόσφαιρα (Μπρέστα, 2009). Η ελεγχόμενη αυτή απώλεια προκαλεί αναπλήρωση του νερού των φύλλων συνεχώς μέσω απορρόφησης νερού από το ριζικό σύστημα και μεταφορά του στα υπέργεια όργανα.

Η φωτοσυνθετική ταχύτητα (A), η αγωγιμότητα των στοματίων (g_s) και η ταχύτητα διαπνοής (E) αποτελούν χρήσιμες παραμέτρους ανταλλαγής αερίων μέσω των οποίων μπορεί να περιγραφεί η φυσιολογική κατάσταση των στομάτων και κατ' επέκταση των φύλλων. Οι μεταβολές στην αγωγιμότητα των στομάτων είναι σημαντικές, αφού καθορίζουν τις απώλειες του νερού αλλά και την παροχή του CO₂, το οποίο είναι διαθέσιμο για τη φωτοσύνθεση.

8. Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας

Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που ακολουθεί, διαπιστώνεται ένα μεγάλο εύρος έρευνας και πειραματισμού σχετικά με την αντίδραση διαφόρων καλλωπιστικών ειδών (δέντρα, θάμνοι, ποώδη), στην αλατότητα ακόμη και στην εφαρμογή ψεκασμών του φυλλώματός τους, όχι όμως των αρωματικών που αποτελεί μια ιδιαίτερη κατηγορία φυτών με αυξανόμενη τάση χρήσης σε εφαρμογές αστικού και περιαστικού πρασίνου. Ως προς τον παράγοντα αυτό, η ανάγκη διεξοδικότερης μελέτης του φυτού *Salvia officinalis*, αποτελεί μια πρωτότυπη προσπάθεια δεδομένου ότι πλέον των καλλωπιστικών χαρακτηριστικών της, το είδος παρουσιάζει και εμπορικό ενδιαφέρον λόγω των πολλών ιδιοτήτων που διαθέτει και της μεγάλης χρήσης στη βιομηχανία των τροφίμων.

Οι Zurayk *et al.* (1993) μελέτησαν πέντε καλλωπιστικά φυτά εξωτερικού και εσωτερικού χώρου στο Λίβανο (*Begonia*, *Chlorophytum*, *Coleus*, *Geranium* και *Mesembryanthemum*) ως προς την ανάπτυξή τους κάτω από συνθήκες άρδευσης με αλατούχο νερό διαφορετικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (5 dS/m και 15 dS/m), μία φορά κάθε 10 ημέρες για περίοδο 50 ημερών (400 ml H₂O/φυτό/άρδευση). Η ανάπτυξη των ειδών μελετήθηκε μέσω του ύψους, του νωπού και ξηρού βάρους των φύλλων και των στελεχών των φυτών και ακολούθως ταξινομήθηκαν σε κατηγορίες σύμφωνα με την αντοχή τους στην αλατότητα. Πέρα από το γεγονός ότι η άρδευση με αλατούχο νερό είχε ως αποτέλεσμα την υφαλμύρωση του εδάφους σε ανάλογα επίπεδα, είχε διαφορετική επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, κανένα από τα φυτά *Begonia* δεν επιβίωσε μετά την 4^η άρδευση με αλατούχο νερό. Τα φυτά *Geranium* επέζησαν, ενώ παρατηρήθηκε αυξημένη ανθοφορία και εμφανή σημάδια νανισμού στη μεταχείριση 15 dS/m. Σε άλλη μελέτη αναφέρεται ικανοποιητική ανάπτυξη του συγκεκριμένου είδους σε παραλιακή περιοχή ενώ είναι εκτεθειμένο στον άνεμο και τα υδροσταγονίδια της θάλασσας (Tjia & Rose, 1987). Το είδος *Coleus* έδειξε καχεκτική ανάπτυξη στην υψηλότερη τιμή αγωγιμότητας (15 dS/m) ενώ η ανάπτυξη του *Chlorophytum* δεν επηρεάστηκε σημαντικά. Το *Mesembryanthemum* εμφανίστηκε ως είδος με υψηλή αντοχή στην αλατότητα αφού ως αλόφυτο έχει τη δυνατότητα να διαλύει το αλάτι στο εσωτερικό του με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η καταστροφή των ιστών από την τοξική επίδραση των ιόντων.

Οι Tjia and Rose (1987) σε μελέτη που έκαναν για την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας κάποιων φυτών υπό συνθήκες αλατότητας (spray) και δυνατών ανέμων, όταν εγκαθίστανται σε παραθαλάσσιες περιοχές, χαρακτηρίζουν την ανάπτυξη των ειδών *Salvia farinacea* (blue) ικανοποιητική την άνοιξη και το καλοκαίρι, ενώ αντίθετα τα είδη *Salvia splendens* (red) εμφάνισαν καχεκτική ανάπτυξη και έζησαν λιγότερο από δύο μήνες κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Οι Sánchez-Blanco *et al.* (2004) μελέτησαν την αντοχή των φυτών *Cistus albidus* L. και *Cistus monspeliensis* L. στην αλατότητα μέσω εφαρμογών ψεκασμού με τρία διαφορετικά διαλύματα άλατος (anionic surfactant, sea aerosol, sea aerosol+anionic surfactant) για περίοδο 7 ημερών. Αυτό που παρατηρήθηκε ήταν υψηλή ευαισθησία των ειδών *Cistus albidus* L., εμφανίζοντας ορατά μεγαλύτερη ζημιά στα φύλλα, η οποία επεκτάθηκε και στο βλαστό, και σημαντικά μειωμένη ανάπτυξη. Τα *Cistus monspeliensis* L. δε φάνηκε να επηρεάζονται δυσμενώς περισσότερο από τα *C. albidus* και εκδήλωσαν λιγότερο σοβαρά συμπτώματα από αυτά, στο συνδυασμό των δύο ουσιών (salt and surfactant). Γενικότερα, στα φύλλα των φυτών που μεταχειρίστηκαν και με τα δύο προσομοιωμένα διαλύματα στο διάλυμα θαλάσσης υπήρξε χλώρωση, νέκρωση και επιπλέον μείωση του επιπέδου της φωτοσύνθεσης σε σημαντικό βαθμό. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι τα είδη *C. monspeliensis* ήταν περισσότερο ανθεκτικά στον ψεκασμό με προσομοιωμένο διάλυμα θαλάσσης από τα *C. albidus* εμφανίζοντας μικρότερη μείωση στην ανάπτυξή τους και μικρότερη ζημιά στα φύλλα. Επίσης, ήταν περισσότερο αποτελεσματικά στο να μειώνουν την περιεκτικότητα σε τοξικά άλατα ίσως λόγω της ικανότητάς τους να απομονώνουν τα τοξικά ιόντα σε ενδοκυτταρικό επίπεδο, πιθανώς στο χυμοτόπιο.

Οι Niu and Rodriguez (2006) θέλησαν να αξιολογήσουν τη συμπεριφορά πέντε καλλωπιστικών πολυετών ποωδών φυτών (*Achillea millefolium* L., *Gaillardia aristata* Foug., *Salvia coccinea* Juss ex J., *Agastache cana* (Hook.) Woot & Standl. και *Echinacea purpurea* (L.) Moench) όταν αρδεύονται με νερό πλούσιο σε άλατα και υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε δύο διαφορετικές εποχές (καλοκαίρι και φθινόπωρο). Η αυξημένη αλατότητα μπορεί να επηρεάσει τη συμπεριφορά των ευαίσθητων σε αυτή φυτών, εκδηλώνοντας καταστροφή των φύλλων (εγκαύματα και νέκρωση). Στην παρούσα μελέτη αξιολογήθηκαν οι παράμετροι ανάπτυξης και το ωσμωτικό δυναμικό των φύλλων. Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν, στο καλοκαιρινό πείραμα, τα είδη *A. millefolium*, *G. aristata* και *S. coccinea* παρουσίασαν αποδεκτή μείωση ανάπτυξης και μικρή καταστροφή των φύλλων τους

σε αυξημένα επίπεδα αλατότητας. Αντίθετα, τα είδη *A. cana* και *E. purpurea* εμφάνισαν μέτρια καταστροφή φύλλων από το αλάτι και καχεκτική ανάπτυξη. Το φθινόπωρο, τα είδη *G. aristata* και *S. coccinea* ήταν χαμηλότερου ύψους σε σχέση με τους μάρτυρες αλλά γενικά όλα τα φυτά είχαν αποδεκτή συμπεριφορά εκτός από το *A. cana* στην υψηλότερη συγκέντρωση αλάτων (4 dS/m), το οποίο παρουσίασε καχεκτική ανάπτυξη και τραυματισμούς στα φύλλα. Οι διαφορές των αποτελεσμάτων πιθανόν οφείλονται στις υψηλότερες θερμοκρασίες και την ακτινοβολία που επικρατούν το καλοκαίρι. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν λοιπόν, κατατάσσουν ως ανθεκτικά στην αλατότητα τα είδη *A. millefolium*, *G. aristata* και *S. coccinea* ενώ τα *A. cana* και *E. purpurea* ως ευαίσθητα στον παράγοντα αυτό.

Σε παρόμοια μελέτη άρδευσης φυτών με ανακυκλωμένο νερό υψηλής περιεκτικότητας σε άλατα μέσω ψεκασμού, οι Jordan *et al.* (2001) χρησιμοποίησαν 20 είδη καλλωπιστικών δέντρων προκειμένου να προσδιορίσουν το βαθμό καταστροφής του φυλλώματός τους από την υψηλή περιεκτικότητα αλάτων. Όλα τα είδη παρουσίασαν μεγάλη καταστροφή φυλλώματος (υψηλό IVD) σε οριακό και ακραίο βαθμό. Τα *Chilopsis linearis* (Cav.) Sweet, *Ligustrum japonicum* Thunb., *Quercus virginiana* 'Heritage' και *Ulmus parvifolia* 'Drake' ήταν τα λιγότερο επιρρεπή σε μεγαλύτερη καταστροφή φύλλων με ανακυκλωμένο νερό άρδευσης. Επίσης, τα είδη *Olea europaea* 'Swan Hill' και *Fraxinus oxycarpa* 'Raywood' παρόλο που παρουσίασαν υψηλές τιμές του λόγου Na:Cl στους ιστούς τους η καταστροφή στα φύλλα τους ήταν μικρότερη. Μικρότερες τιμές συγκεντρώσεων ιόντων Na και Cl στους ιστούς τους εμφάνισαν τα είδη *Olea europaea* 'Swan Hill', *Quercus virginiana* 'Heritage', *Pinus pinea* L. και *Albizia julibrissin* Durazz. Τα *Chitalpa tashkentensis* 'Pink Dawn' και *Prunus cerasifera* 'Atropurpurea' είχαν σημαντικά υψηλότερες τιμές Na και Cl στους ιστούς και επίσης μεγαλύτερη καταστροφή φύλλων. Η καταστροφή των φύλλων που παρατηρήθηκε σε αυτή τη μελέτη φαίνεται να προέκυψε από τα αυξημένα επίπεδα Na στους ιστούς των φύλλων. Η απορρόφηση των αλάτων από το φύλλωμα των φυτών και ο βαθμός καταστροφής του, οφείλεται σε διάφορους μηχανισμούς που ποικίλουν από είδος σε είδος όπως το πάχος της επιδερμίδας των φύλλων, τα κατώτατα όρια συγκεντρώσεων των ιόντων στους ιστούς, η παρουσία κεριού, η ξυλοποίηση των επιδερμικών κυττάρων κ.ά.. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την απορρόφηση του άλατος από τα φύλλα είναι η συχνότητα των αρδεύσεων (αυξάνει από το χειμώνα προς το καλοκαίρι), ο χρόνος διαβροχής, η χρονική διάρκεια που παραμένει διαβρεγμένο το

φύλλο, η θερμοκρασία κ.ά. Από την παρούσα μελέτη προκύπτει το γενικό συμπέρασμα ότι τα ξυλώδη καλλωπιστικά δέντρα παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στην άρδευση μέσω ψεκασμού (spray irrigation) με ανακυκλωμένο νερό με περισσότερο ανθεκτικά να εμφανίζονται τα είδη του γένους *Pinus*.

Οι Bonghi and Loreto (1989) μελέτησαν τις επιδράσεις της αλατότητας στις φωτοσυνθετικές ιδιότητες φύλλων ελιάς (*Olea europea* L.). Κοινό σύμπτωμα των καταπονημένων λόγω αλατότητας φύλλων της ελιάς, είναι η αύξηση του πάχους του κυτταρικού τοιχώματος και γενικά όλου του φύλλου, συνοδευόμενη με μια μείωση της επιφάνειάς του και συνεπώς μια δραματική μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας, υποδεικνύοντας μη αναστρέψιμη καταστροφή των φύλλων. Επιπλέον σημειώθηκε μια απότομη μείωση στο μέγιστο φθορισμό της χλωροφύλλης (F_m) υπό καταπόνηση λόγω αλατότητας, σε αντίθεση με το φθορισμό βάσης (F_0) όπου δεν παρατηρήθηκε καμία σημαντική μείωση.

Οι διαφορές που προκύπτουν από τα ποικίλα πειράματα, σε σχέση με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης μπορεί να οφείλονται σε παράγοντες όπως στον διαφορετικό τρόπο προέλευσης του νερού υψηλής αλατότητας (συγκέντρωση αλάτων), στην ποσότητά του και στον τρόπο λήψης του από τα φυτά (έδαφος ή υπέργειο μέρος) αναφορικά πάντα με τις ανάγκες των φυτών και τις περιβαλλοντικές συνθήκες κάθε πειράματος.

9. Σκοπός μελέτης

Ως γνωστόν, η αλατότητα αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες καταπόνησης καλλωπιστικών και καλλιεργούμενων ειδών. Σήμερα η συνεχώς αυξανόμενη ανησυχία για τις επιπτώσεις της συγκέντρωσης ιόντων Na^+ και Cl^- στην ανάπτυξη των φυτών οδηγεί την έρευνα σε κατευθύνσεις οι οποίες έχουν ως στόχο την επιλογή ειδών ανθεκτικών στην αλατότητα ιδιαίτερα όταν εγκαθίστανται σε περιοχές οι οποίες διαβρέχονται από θαλασσινό νερό.

Η βλάστηση είναι βασικό συστατικό της διαμόρφωσης του τοπίου, όχι μόνο λόγω των καλλωπιστικών αλλά και των ευεργετικών ιδιοτήτων της, που οδήγησαν στην εκτεταμένη χρήση της σε κάθε είδους περιβάλλοντα στα οποία ζει και δραστηριοποιείται ο άνθρωπος. Μέσω των μηχανισμών φωτοσύνθεσης και εξατμισοδιαπνοής, η βλάστηση συνεισφέρει βιοκλιματικά (σκίαση, μείωση θερμοκρασίας, δροσιά). Τα τελευταία χρόνια στα πλαίσια της ανάγκης για περισσότερο αστικό και περιαστικό πράσινο σε πολλές περιοχές της Ελλάδας και του κόσμου γενικότερα, παρατηρείται τάση για εγκατάσταση φυτικού υλικού διαφόρων ειδών που θα προσφέρουν ευνοϊκές συνθήκες διαβίωσης σε αυτές τις περιοχές.

Η αποτελεσματικότητα της επίδρασης του χώρου πρασίνου εξαρτάται από το σωστό σχεδιασμό του και τα επιλεγμένα φυτικά είδη. Για να αποτελέσουν τα φυτικά είδη λύση για τη βιωσιμότητα και λειτουργικότητα του χώρου στον οποίο εγκαθίστανται, θα πρέπει να γίνουν εκτενείς έρευνες, ώστε να δοθούν απαντήσεις σε πολλά ερωτήματα που αφορούν τους παράγοντες που σχετίζονται με την καταλληλότητα των φυτικών ειδών σε κάθε περιβάλλον. Εξειδικευμένη μελέτη επίδρασης ενός σημαντικού παράγοντα καταπόνησης των φυτών, όπως είναι η καταπόνηση λόγω αλατότητας, σε συνδυασμό με την επιλογή και μελέτη της ανάπτυξης διαφόρων ειδών καλλωπιστικών φυτών, αποτελεί σημαντικό θέμα, το οποίο εντάσσεται στη γενικότερη έρευνα.

Στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκε η ανάπτυξη δύο αυτοφυών φυτών της ελληνικής χλωρίδας (*Salvia officinalis* και *Nerium oleander*) σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας με διαφυλλική εφαρμογή μικροσταγονιδίων δύο διαλυμάτων υψηλής αλατότητας διαφορετικής σύνθεσης, A: 410 mM NaCl και B: 410 mM NaCl+420 μM H_3BO_3 . Κάθε διάλυμα εφαρμόστηκε σε δύο συχνότητες (1φ./εβδ. και 2φ./εβδ.). Ως βασικό συστατικό των διαλυμάτων διατηρήθηκε το NaCl, βασικό συστατικό του θαλασσινού νερού, σε περιεκτικότητα που κυμαίνεται από 2,7 έως 3,8% ($\Delta 13$).

Επίσης εξετάστηκε η H_3BO_3 σε συνδυασμό με το NaCl στο διάλυμα εφαρμογής. Η συμμετοχή του βορικού οξέος στο διάλυμα προέκυψε από το γεγονός ότι το θαλασσινό νερό εμπεριέχει ποσότητα βορίου υπό τη μορφή βορικού οξέος σε συγκέντρωση που κυμαίνεται από 1-10 mg/kg (Power & Woods, 1997) και η μέση συγκέντρωση του σε αυτό είναι περίπου 4,6 mg/L ή 416 μ M (Παπαδάκης, 2002). Στο διάλυμα εφαρμογής του πειράματος η συμμετοχή του βορίου ήταν 4,54 ppm.

Ειδικότερα, για τα είδη *Salvia officinalis* και *Nerium oleander* η μελέτη αφορούσε τη συμπεριφορά ανάπτυξή τους και την ανθεκτικότητα που παρουσιάζουν στους χειρισμούς που προαναφέρθηκαν καθώς πρόκειται για δύο είδη τα οποία παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον χρήσης τελευταία στην εμπορική Ανθοκομία και στην κηποτεχνία γενικότερα. Σκοπός του πειράματος ήταν να διερευνηθεί η επίδραση της αλατότητας σε μορφολογικές και φυσιολογικές παραμέτρους αυτών των ειδών καθώς και να αξιολογηθεί η δυνατότητα εγκατάστασής αυτών των φυτών σε περιβάλλοντα που γειτνιάζουν με θάλασσα.

Για πληρέστερη εικόνα και εκτίμηση της συμπεριφοράς αυτών των ειδών σε παραθαλάσσιες περιοχές κρίθηκε σκόπιμη η μελέτη των βιομετρικών τους χαρακτηριστικών καθώς και των φυσιολογικών παραμέτρων οι οποίες σχετίζονται με τη φωτοσυνθετική λειτουργία στις διάφορες φάσεις ανάπτυξής τους (Φ_{PSII} , Φ_{PSIIo} , ETR, NPQ, A, g_s και E).

B. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

1. Φυτικό υλικό

Για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν ριζοβολημένα μοσχεύματα των φυτών *Nerium oleander* και *Salvia officinalis* τα οποία προμηθευτήκαμε από την εταιρία MARIGOLD PLANTS A.E. (Μαραθώνα, Αττική).

2. Φυτοδοχεία

Η μεταφύτευση των μοσχευμάτων *Salvia officinalis* έγινε τη 10η Μαΐου 2012 και η μεταφύτευση των μοσχευμάτων *Nerium oleander* την 22η Μαΐου 2012 σε πλαστικές γλάστρες χωρητικότητας 4 l περίπου (Εικ. 9). Συνολικά φυτεύτηκαν 30 γλάστρες για κάθε φυτό (30 x 2 είδη φυτών = 60 γλάστρες).

Πλαστική Γλάστρα Νο 199 (Miltoplast

A.E. Αττική) (Εικ. 9):

Εξωτερική διάμετρος: 22 cm

Εσωτερική διάμετρος: 20 cm

Ύψος: 20 cm

Διάμετρος βάσης: 18 cm



Εικόνα 9 Γλάστρα Νο 199
Miltoplast A.E. (Δ6)

Οι γλάστρες τοποθετήθηκαν με τυχαία σειρά, σε υπερυψωμένα μεταλλικά τραπέζια στον κήπο του Εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (37°58'57.73''N, 23°42'19.42''E) (Εικ. 10 και 11).



Εικόνα 10 Φυτά *Salvia officinalis* κατά τη διεξαγωγή του πειράματος



Εικόνα 11 Φυτά *Nerium oleander* κατά τη διεξαγωγή του πειράματος

3. Υπόστρωμα ανάπτυξης

Για τη σύνθεση του υποστρώματος ανάπτυξης των φυτών χρησιμοποιήθηκε τύρφη με pH 5,5 – 6,5 (ΑΓΡΟΧΟΥΜ Α.Ε.) και περλίτης με pH 6,5-7 της ISOCON Α.Ε. σε αναλογία 1:1 κατ' όγκο.



Εικόνα 12 Τα συστατικά σύνθεσης υποστρώματος ανάπτυξης φυτών. Από αριστερά προς τα δεξιά: περλίτης (Δ8) και ξανθιά τύρφη (Δ7).

4. Επεμβάσεις – Επαναλήψεις

Κατά τη διεξαγωγή του πειράματος έγινε εφαρμογή ψεκασμού του φυλλώματος των φυτών με δύο αλατούχα διαλύματα διαφορετικής σύνθεσης: συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε διάλυμα NaCl (FERAK GMBH, Berlin, Germany) και διάλυμα NaCl+H₃BO₃ (H₃BO₃, Merck KGaA, Darmstadt, Germany). Κάθε διάλυμα εφαρμόστηκε σε δύο συχνότητες, μία και δύο φορές την εβδομάδα. Τα φυτά που δέχθηκαν εφαρμογές ψεκασμών συγκρίθηκαν με φυτά μάρτυρες (CD), στα οποία δεν εφαρμόστηκε κανένας ψεκασμός του φυλλώματος και με μάρτυρες φυτά των οποίων το φύλλωμα δέχθηκε ψεκασμό με απιονισμένο νερό δύο φορές την εβδομάδα (CDw). Οι εφαρμογές των ψεκασμών ξεκίνησαν την 21^η Ιουνίου 2012 και ολοκληρώθηκαν τη 10^η Σεπτεμβρίου 2012 και για τα δύο είδη φυτών.

Τα διαλύματα παρασκευάστηκαν στο Εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου ως εξής:

A: 410 mM NaCl και

B: 410 mM NaCl+420 μM H₃BO₃

A) διάλυμα NaCl: με προσθήκη 23,93 g / lt H₂O

B) διάλυμα NaCl+H₃BO₃: 23,93 g NaCl και 0,026 g H₃BO₃ σε lt H₂O

Η εφαρμογή των διαλυμάτων έγινε με τη χρήση ψεκαστηριών όγκου 1 lt. Πριν από κάθε εφαρμογή ψεκασμού, καλυπτόταν η επιφάνεια του υποστρώματος του φυτού με πλαστικό φύλλο, ώστε το διάλυμα να μην έχει επαφή με το υπόστρωμα και στη συνέχεια γινόταν ομοιόμορφη εφαρμογή του ψεκασμού σε όλο το φύλλωμα κάθε φυτού. Στα φυτά *Nerium oleander* για κάθε εφαρμογή ψεκασμού χρησιμοποιούνταν

20 ml διαλύματος ανά φυτό ενώ στα φυτά *Salvia officinalis* 15 ml διαλύματος ανά φυτό για κάθε εφαρμογή ψεκασμού.

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται αναλυτικά οι επεμβάσεις που δέχθηκαν και τα δύο είδη φυτών που μελετήθηκαν.

Πίνακας 1 Πειραματικές επεμβάσεις

ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ	ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ	ΕΡΜΗΝΕΙΑ
A	CD	Μάρτυρας
B	CDw	Μάρτυρας με ψεκασμό H ₂ O 2φ/εβδ.
Γ	SpSa	Ψεκασμός με NaCl 1φ/εβδ.
Δ	SpSb	Ψεκασμός με NaCl 2φ/εβδ.
E	SpSBa	Ψεκασμός με NaCl+H ₃ BO ₃ 1φ/εβδ.
Z	SpSBb	Ψεκασμός με NaCl+H ₃ BO ₃ 2φ/εβδ.

Κάθε επέμβαση εφαρμοζόταν σε 5 επαναλήψεις (φυτά) και για τα δύο είδη φυτών που μελετήθηκαν.

5. Άρδευση

Η άρδευση των φυτών σε όλη τη διάρκεια του πειράματος γινόταν με αυτόματο πότισμα. Χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικός προγραμματιστής (Galcon 7001 D) και σταλάκτες (Nestos) σταθερής παροχής 2 lt/h (Εικ. 13). Σε κάθε γλάστρα τοποθετήθηκε ένας σταλάκτης (Εικ. 14). Οι εφαρμογές άρδευσης και για τα δύο είδη κατά τη διάρκεια του πειράματος ήταν οι ακόλουθες:

Nerium oleander :

Από 22 Μαΐου 2012 έως 11 Ιουλίου 2012: 4 φορές την εβδομάδα για 5 λεπτά τη φορά

Από 12 Ιουλίου 2012 έως 10 Σεπτεμβρίου 2012: 7 φορές την εβδομάδα για 7 λεπτά τη φορά

Salvia officinalis:

Από 10 Μαΐου 2012 έως 20 Ιουνίου 2012 4 φορές την εβδομάδα για 5 λεπτά τη φορά

Από 21 Ιουνίου 2012 έως 10 Σεπτεμβρίου 2012 7 φορές την εβδομάδα για 5 λεπτά τη φορά

Η άρδευση των φυτών γινόταν τις πρωινές ώρες (ώρα 06:00), περίπου 1 ώρα πριν την ανατολή του ηλίου.



Εικόνα 13 Σταλάκτης Nestos (Δ9)



Εικόνα 14 Διάταξη σταλακτών στη γλάστρα

6. Λίπανση

Τη 19η Ιουνίου έγινε ριζοπότισμα όλων των φυτών με 5 g / lt H₂O διαλύματος Nutrileaf 20-20-20 (Miller Chemical & Fertilizer Corporation, USA) ώστε τα φυτά να επανακάμψουν από τις υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού.

7. Περιβαλλοντικές συνθήκες ανάπτυξης των φυτών

7.1. Θερμοκρασία περιβάλλοντος

Με βάση το μετεωρολογικό σταθμό του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών ελήφθησαν οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες (Πιν. 2) που παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος. Η καταγραφή και η επεξεργασία των τιμών έγινε από το Εργαστήριο Γεωργικής Μετεωρολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Πίνακας 2 Μηνιαία θερμοκρασία αέρα (°C)

Θερμοκρασία Αέρος T (°C)			
Μήνας	T _{max} (°C)	T _{min} (°C)	Μέση T (°C)
Μάιος	23,7	14,1	18,3
Ιούνιος	30,8	21,2	23,9
Ιούλιος	38,88	19,0	28,7
Αύγουστος	36,09	18,0	28,0
Σεπτέμβριος	32,77	12,2	22,7

8. Μετρήσεις

8.1. Βιομετρικά χαρακτηριστικά

Οι μετρήσεις βιομετρικών χαρακτηριστικών αφορούσαν το ύψος και τη φυλλική επιφάνεια των φυτών και των δύο ειδών.

8.1.1. Ύψος

Η μέτρηση του ύψους γινόταν με τη χρήση χάρακα για τα φυτά *Salvia officinalis* και με τη χρήση μέτρου για τα φυτά *Nerium oleander*, από τη βάση του υπέργειου τμήματος του φυτού (σημείο λαιμού) που βρισκόταν στην επιφάνεια του υποστρώματος μέχρι τον ακραίο ανθοφόρο οφθαλμό.

Η μέτρηση του ύψους των φυτών και των δύο ειδών έγινε συγκεκριμένα:

- Για τα φυτά *Nerium oleander*: 26/6/2012 και 26/7/2012
- Για τα φυτά *Salvia officinalis*: 11/6/2012, 13/7/2012 και 5/9/2012

8.1.2. Μέτρηση φυλλικής επιφάνειας (*Leaf Area Index, LAI*)

Κατά τη διάρκεια του πειράματος έγιναν μετρήσεις του δείκτη φυλλικής επιφάνειας ($LAI - m^2$ φυλλικής επιφάνειας / m^2 επιφάνειας εδάφους), για όλα τα φυτά και των δύο ειδών. Οι μετρήσεις έγιναν με χρήση του φορητού οργάνου LAI-2000 Plant Canopy Analyzer LI-COR (Εικ. 15) και πραγματοποιήθηκαν δύο φορές καθ όλη τη διάρκεια του πειράματος για τα φυτά της *Salvia officinalis* (28/06/2012 και 25/09/2012) και μια φορά για τα φυτά *Nerium oleander* (28/06/2012). Το όργανο αυτό έχει σχεδιαστεί για την εκτίμηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας της κόμης των φυτών έμμεσα από τις μετρήσεις της ακτινοβολίας πάνω και κάτω από τη φυτική κόμη, με βάση τη θεωρητική σχέση μεταξύ φυλλικής επιφάνειας και διαπερατότητας της φυτικής κόμης (Stenberg *et al.*, 1994). Μέσω ενός οπτικού αισθητήρα που διαθέτει το όργανο, ο οποίος αποτελείται από πέντε ανιχνευτές, έχει τη δυνατότητα να μετρά την ακτινοβολία (<490 nm) από διαφορετικά τμήματα του ουρανού ($\Delta 10$). Η διαπερατότητα της φυτικής κόμης για αυτά τα διαφορετικά τμήματα (πέντε γωνίες) αποδίδεται ως ο λόγος μεταξύ των μετρήσεων πάνω και κάτω από την κόμη για κάθε ανιχνευτή. Από αυτό, ο LAI υπολογίζεται χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο μεταφοράς ακτινοβολίας στη φυτική κόμη και καταγράφεται ως ένας «καθαρός» αριθμός, ο οποίος εκφράζει το λόγο της συνολικής επιφάνειας των φύλλων ενός φυτού που καλύπτει μια επιφάνεια εδάφους προς το εμβαδόν αυτής της επιφάνειας (m^2 φυλλικής επιφάνειας / m^2 επιφάνειας εδάφους).



Εικόνα 15 Όργανο μέτρησης φυλλικής επιφάνειας LAI-2000 Plant Canopy Analyzer LI-COR

Η εκτίμηση της φυλλικής επιφάνειας βασίζεται στην υπόθεση των τυχαίως καταναμημένων στοιχείων του φυλλώματος. Ο δείκτης LAI λοιπόν, προσδιορίζεται πειραματικά και αποτελεί έναν πολύ χρήσιμο δείκτη για τη μελέτη της ανάπτυξης των φυτών καθώς επηρεάζει άμεσα την απορρόφηση του φωτός από τη φυτική κόμη.

8.2. Φωτοσυνθετικές παράμετροι

8.2.1. Φυσιολογικοί δείκτες

Έγιναν μετρήσεις στη θεμελιώδη φωτονιακή απόδοση της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSII_0}) μετά από – λεπτά εγκλιματισμού του φύλλου στο σκοτάδι και στη συνέχεια της λειτουργικής φωτονιακής απόδοσης της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSII}), του φαινόμενου ρυθμού ροής των ηλεκτρονίων (ETR), του συντελεστή φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (qP) και του συντελεστή μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (qN και NPQ) μέσω της λήψης καμπυλών απόκρισης των φωτοχημικών παραμέτρων στις διάφορες εντάσεις της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με τη χρήση ακτινικού φωτός λαμπτήρα αλογόνου που παρέχει η συσκευή μέτρησης. Οι καμπύλες αυτές αναφέρονται ως καμπύλες της κινητικής επαγωγής του φθορισμού (καμπύλες Kautsky). Κάθε φύλλο εγκλιματιζόταν για περίπου 20 λεπτά πριν τη διεξαγωγή των μετρήσεων με τη χρήση ειδικών υποδοχέων.

Η μελέτη του *in vivo* φθορισμού της χλωροφύλλης α πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του φορητού φθοριόμετρου χλωροφύλλης MINI-PAM Photosynthesis Yield Analyzer (Heinz Walz GmbH, Effeltrich, Germany) (Εικ. 16). Το όργανο αυτό έχει τη δυνατότητα να εκτιμά και να ανιχνεύει το φθορισμό που προκύπτει από τη διέγερση ενέργειας μέσω παλμικά διαμορφωμένης ακτινοβολίας διέγερσης (LED).



Εικόνα 16 Όργανο μέτρησης φθορισμού της χλωροφύλλης MINI-PAM Photosynthesis Yield Analyzer (Δ11)

Η παράμετρος Φ_{PSII_0} υπολογίστηκε ως $\Phi_{PSII_0} = (F_m - F_0) / F_m = F_v / F_m$, όπου F_0 ο φθορισμός βάσης, F_m ο μέγιστος φθορισμός και F_v ο μεταβλητός φθορισμός. Η

παράμετρος Φ_{PSII} υπολογίστηκε από τη σχέση $\Phi_{PSII}=(F'_m-F_s)/F'_m$, όπου F'_m ο μέγιστος φθορισμός στο «φως» και F_s ο φθορισμός σταθερής κατάστασης (Genty *et al.*, 1990). Ακολούθως, υπολογίστηκε η ταχύτητα ροής ηλεκτρονίων (ETR) σύμφωνα με τη σχέση:

$$ETR = Q \times \Phi_{PSII} \times A \times f$$

Όπου, Q: η ένταση της προσπίπτουσας φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας (PAR)

A: ο συντελεστής απορροφητικότητας της προσπίπτουσας φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας (PAR) από το φύλλο και ισούται με 0,85 (Logan *et al.*, 2007)

f: ο συντελεστής κατανομής της φωτονιακής ενέργειας μεταξύ των δύο φωτοσυστημάτων και θεωρείται ίσος με 0,5 (Logan *et al.*, 2007)

Επίσης, το MINI-PAM παρέχει τη δυνατότητα μέτρησης συντελεστών απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης (qP, qN, NPQ). Η παράμετρος μη-φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού (NPQ) υπολογίστηκε μέσω της σχέσης:

$$NPQ = (F_m - F'_m)/F'_m$$

Όπου, F_m : ο μέγιστος φθορισμός στο «σκοτάδι»

F'_m : ο μέγιστος φθορισμός στο «φως»

Οι τιμές της παραμέτρου κυμαίνονται από 0 έως 10 περίπου. Σε ένα τυπικό φυτό, οι τιμές της παραμέτρου κυμαίνονται από 0,5 έως 3,5 σε εντάσεις φωτός κορεσμού, παρόλα αυτά ποικίλει σημαντικά μεταξύ των διαφόρων ειδών (Maxwell & Johnson, 2000). Οι παράμετροι qP και qN παίρνουν τιμές μεταξύ 0 έως 1 και είναι πολύ ευαίσθητες σε μεταβολές της απόσβεσης σε μεγαλύτερες τιμές.

Οι καμπύλες απόκρισης των παραμέτρων λειτουργίας του φωτοσυστήματος II συναρτήσεως της έντασης της ακτινοβολίας λήφθηκαν με προσαρμογή του οπτικού μέρους του φθορισμόμετρου στην πάνω επιφάνεια του φύλλου και υπό σταδιακά αυξανόμενη ένταση προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η περίοδος εγκλιματισμού του δείγματος σε κάθε αλλαγή της έντασης της φωτεινής ακτινοβολίας ήταν 3 λεπτά. Οι εντάσεις της φωτεινής ακτινοβολίας που δέχθηκε το κάθε δείγμα ήταν οκτώ (120, 206, 303, 426, 639, 876, 1329, και 1938 $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Σε κάθε περίπτωση, η ένταση της ακτινοβολίας μέτρησης ήταν σταθερή και η ενίσχυση του σήματος

ρυθμιζόταν κατάλληλα ώστε ο φθορισμός να βρίσκεται στα όρια μεταξύ 200-300 της κλίμακας του οργάνου.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε πέντε φύλλα ανά μεταχείριση για κάθε φυτό και έγιναν σε τρεις χρονικές περιόδους ανάπτυξης των φυτών, πιο συγκεκριμένα:

- Για τα φυτά *Salvia officinalis*:
 - 11 Ιουνίου 2012 – Αρχικές μετρήσεις: Φ_{PSIIo} , Φ_{PSII} , ETR, qP, qN, NPQ
 - Ιούλιος 2012: Φ_{PSIIo} , Φ_{PSII} , ETR, qP, qN, NPQ
 - Σεπτέμβριος 2012: Φ_{PSIIo} , Φ_{PSII} , ETR, qP, qN, NPQ
- Για τα φυτά *Nerium oleander*:
 - 16 Μαΐου 2012 – Αρχικές μετρήσεις: Φ_{PSIIo} , Φ_{PSII} , ETR, qP, qN, NPQ
 - Αύγουστος 2012: Φ_{PSIIo} , Φ_{PSII} , ETR, qP, qN, NPQ

8.2.2. Φωτοσυνθετική ταχύτητα και παράμετροι ανταλλαγής αερίων

Η διεξαγωγή των μετρήσεων φωτοσύνθεσης έγινε τις ηλιόλουστες ημέρες κατά τη διάρκεια του πειράματος, κατά τις πρωινές ώρες της ημέρας. Ξεκινούσαν στις 7⁰⁰ περίπου το πρωί και ολοκληρώνονταν περίπου στις 12³⁰ μ.μ.. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το φορητό όργανο μέτρησης φωτοσύνθεσης LCpro+ (ADC Bioscientific Ltd., England) (Εικ. 17). Η λήψη των καμπυλών απόκρισης της φωτοσυνθετικής ταχύτητας και της ταχύτητας διαπνοής συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας έγινε με εγκλεισμό του φύλλου σε θάλαμο μέτρησης. Οι μετρήσεις διεξήχθησαν υπό σταθερές συνθήκες φωτισμού έντασης από 0 έως 1500 $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$, σε ατμοσφαιρική συγκέντρωση CO_2 και θερμοκρασίας αέρα 23°C. Οι προαναφερόμενες συνθήκες ήταν αυτές που επικρατούσαν στο θάλαμο κατά τη διάρκεια της μέτρησης στα φύλλα των φυτών. Το φύλλο παρέμεινε σε κάθε τιμή έντασης για 3 λεπτά πριν την καταγραφή των τιμών. Ο φωτισμός του φύλλου στο θάλαμο του οργάνου εφαρμόστηκε μέσω πηγής LED.



Εικόνα 17 Όργανο μέτρησης παραμέτρων ανταλλαγής αερίων LCpro+ (Δ12)

Το LCpro+ διαθέτει αυτόματο σύστημα μέτρησης και καταγραφής και άλλων παραμέτρων της φωτοσύνθεσης όπως η στοματική αγωγιμότητα (stomatal conductance, g_s) και ο ρυθμός διαπνοής (transpiration rate, E).

Τα φύλλα που επιλέχθηκαν για τις μετρήσεις ήταν νεαρής ηλικίας, χωρίς εμφανείς προσβολές από εντομολογικούς και φυτοπαθολογικούς εχθρούς, με φυλλική επιφάνεια που κυμαίνονταν μεταξύ 4-6,25 cm² (η κυβέτα του θαλάμου καλύπτει επιφάνεια 6,25 cm²) και βρίσκονταν στο μεσαίο τμήμα και στο εξωτερικό μέρος της κόμης του φυτού. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε πέντε φύλλα ανά μεταχείριση για κάθε φυτό.

Οι μετρήσεις ανταλλαγής των αερίων λαμβάνονταν την ίδια ημέρα και στα ίδια φύλλα στα οποία είχαν ληφθεί και οι μετρήσεις του φθορισμού και πραγματοποιήθηκαν σε τρεις χρονικές περιόδους ανάπτυξης των φυτών. Πιο συγκεκριμένα:

- Για τα φυτά *Salvia officinalis*:
 - 11 Ιουνίου 2012 – Αρχικές μετρήσεις: A , g_s , E
 - Ιούλιος 2012: A , g_s , E
 - Σεπτέμβριος 2012: A , g_s , E
- Για τα φυτά *Nerium oleander*:
 - 16 Μαΐου 2012 – Αρχικές μετρήσεις: A , g_s , E
 - Αύγουστος 2012: A , g_s , E

8.2.3. Συγκέντρωση χλωροφυλλών

Φύλλα ίδιας ηλικίας, στα οποία έγιναν οι μετρήσεις του φθορισμού και της φωτοσύνθεσης, συλλέχθηκαν και μεταφέρθηκαν αμέσως στο εργαστήριο, τοποθετημένα μέσα σε πλαστικές σακούλες και σε φορητό ψυγείο. Από αυτά κάθε φορά λαμβάνονταν δίσκοι διαμέτρου 10,5 mm με τη βοήθεια φελοτρυπητήρα της ίδιας διαμέτρου. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε κάτω από αμυδρό φωτισμό, καθώς οι χρωστικές είναι φωτοευαίσθητα και θερμοευαίσθητα μόρια. Στη συνέχεια ο κάθε δίσκος αλέστηκε έως ομοιογενούς πάστας σε παγωμένο πορσελάνινο γουδί με διάλυμα ακετόνης 80%, παρουσία μικρής ποσότητας άνυδρου ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) και καθαρής άμμου θαλάσσης. Το εκχύλισμα παραλαμβάνονταν με τη βοήθεια επιπλέον ακετόνης 80% σε πλαστικούς δοκιμαστικούς σωλήνες με πιπέτα Pasteur. Τα δείγματα διατηρήθηκαν σε πάγο και στη συνέχεια φυγοκεντρήθηκαν για 10 min στις 4000 στροφές/λεπτό (κάθε φορά ισοσταθμίζαμε τα δείγματα στη φυγόκεντρο με διάλυμα ακετόνης 80%). Παραλήφθηκε το υπερκείμενο σε νέο δοκιμαστικό σωλήνα και ογκομετρήθηκε μέχρι τα 3 ml με διάλυμα ακετόνης (80%). Ακολούθως, αφού μεταφερόταν το διάλυμα σε γυάλινη κυβέτα φωτομέτρου, μετρήθηκε η απορρόφησή του στα 663 nm, 647 nm και 720 nm σε φασματοφωτόμετρο υπεριώδους – ορατού διπλής δέσμης Shimadzu UV-160A. Οι φωτομετρήσεις γίνονταν με φωτομετρικό μάρτυρα ακετόνη 80%. Για το κάθε φυτό ανά μεταχείριση, πραγματοποιήθηκαν 5 επαναλήψεις. Ο υπολογισμός των συγκεντρώσεων των χλωροφυλλών έγινε σύμφωνα με τις εξισώσεις (Lichtenthaler, 1987):

$$\text{Chl}_a = 12,47 \text{ A663} - 3,62 \text{ A647}$$

$$\text{Chl}_b = 25,06 \text{ A647} - 6,5 \text{ A663}$$

$$\text{Chl}_{a+b} = \text{Chl}_a + \text{Chl}_b$$

Οι τελικές τιμές των συγκεντρώσεων των χλωροφυλλών εκφράστηκαν σε mg Chl cm^{-2} επιφάνειας φύλλου. Οι μετρήσεις έγιναν ως εξής:

- Για τα φυτά *Salvia officinalis*:
 - 12 Ιουνίου 2012 – Αρχικές μετρήσεις
 - 17 Ιουλίου 2012
 - 12 Σεπτεμβρίου 2012

- Για τα φυτά *Nerium oleander*:
 - 17 Μαΐου 2012 – Αρχικές μετρήσεις
 - 2 Αυγούστου 2012

8.3. Μορφολογικές παράμετροι

Κάθε φορά, μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων πεδίου, ακολουθούσε η δειγματοληψία των φύλλων (5 δείγματα ανά μεταχείριση για κάθε φυτό) και η μεταφορά τους στο εργαστήριο μέσα σε φορητό ψυγείο για τις περαιτέρω εργαστηριακές μετρήσεις.

8.3.1. Πάχος φύλλου (LT)

Το πάχος των νωπών φύλλων μετρήθηκε με τη βοήθεια μικρόμετρου τύπου IP54 PREISSER MESSTECHNIK, DE. Για κάθε δείγμα οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε τρία διαφορετικά σημεία της επιφάνειας του φύλλου. Το πάχος του φύλλου εκφράστηκε σε μm και προέκυψε από το μέσο όρο των μετρήσεων αυτών.

8.3.2. Σχετική περιεκτικότητα σε νερό του φύλλου (RWC)

Από τα επιλεγμένα φύλλα, κάθε φορά αφαιρούνταν δίσκος διαμέτρου 10,5 mm από το καθένα με τη βοήθεια φελοτρυπητήρα της ίδιας διαμέτρου. Αρχικά μετρήθηκε το νωπό βάρος (FW) του κάθε φύλλου με τη χρήση ζυγού ακριβείας. Στη συνέχεια το κάθε δείγμα δίσκου τοποθετήθηκε μέσα σε απεσταγμένο νερό, σε πλαστικό τρυβλίο για 24 ώρες, μέχρι κορεσμού των φυτικών ιστών και ζυγίστηκε (κορεσμένο βάρος, TW), αφού πρώτα η επιφάνεια του δείγματος σκουπίστηκε απαλά με χαρτί. Τα τρυβλία διατηρήθηκαν σε αμυδρό φως και συνθήκες δωματίου (Yamasaki & Dillenburg, 1999). Ακολούθησε η τοποθέτηση των δειγμάτων στο φούρνο για ξήρανση στους 60°C για 48 h και μετά το ζύγισμα του βάρους τους (ξηρό βάρος, DW). Ο υπολογισμός της σχετικής περιεκτικότητας σε νερό του κάθε φύλλου (Relative Water Content, RWC) έγινε σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\text{RWC} = (\text{FW} - \text{DW}) / (\text{TW} - \text{DW})$$

Γ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

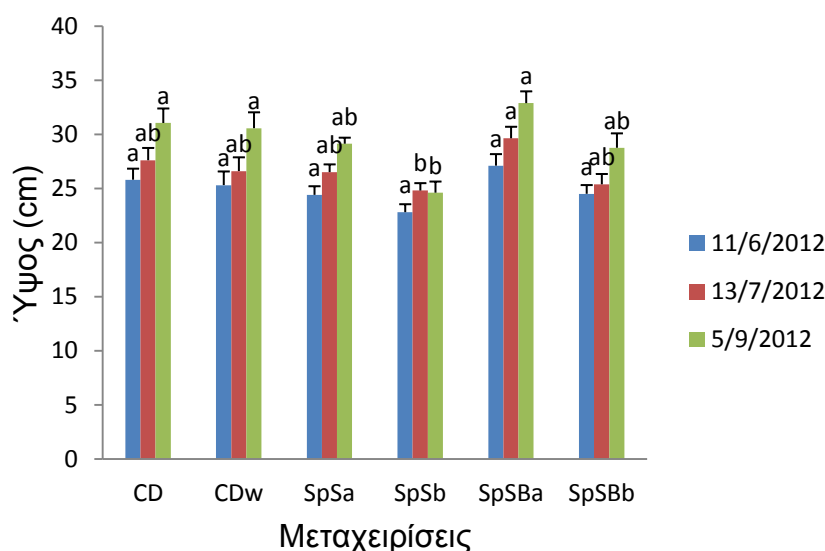
Στους πίνακες και τα διαγράμματα που ακολουθούν, παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων ανά μεταχείριση και ανά χρονική περίοδο (ξεκινώντας από την αρχή του πειράματος) για τα δύο φυτικά είδη. Ως γνωστόν, η καταπόνηση λόγω αλατότητας προκαλεί ένα ευρύ φάσμα αντιδράσεων σε ένα φυτικό οργανισμό. Για να διερευνήσουμε λοιπόν τον αρχικό σκοπό του πειράματος κρίθηκε αναγκαία η μελέτη της επίδρασης της αλατότητας με την καταγραφή και αξιολόγηση των σημαντικότερων παραμέτρων σε μορφολογικό και φυσιολογικό επίπεδο. Με βάση τον πειραματικό αυτό σχεδιασμό, είναι εφικτή η εκτίμηση της δυνατότητας και του βαθμού εγκλιματισμού και των δύο φυτών που μελετήθηκαν, σε παραθαλάσσια μέρη.

1. *Salvia officinalis* (Φασκόμηλο)

1.1. Βιομετρικά χαρακτηριστικά - Μορφολογικές παράμετροι

Οι μορφολογικές παράμετροι οι οποίες υπολογίστηκαν και αξιολογήθηκαν είναι:

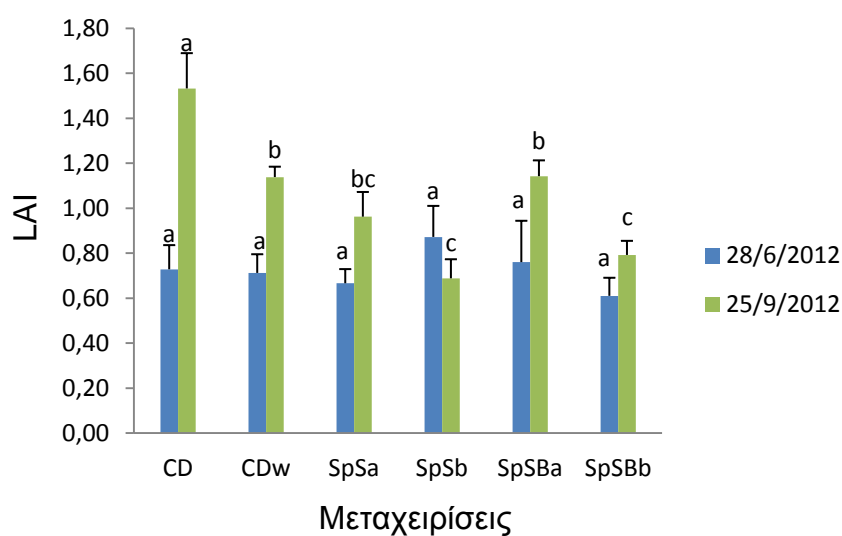
1.1.1. Μεταβολή ύψους



Σχήμα 1 Μεταβολή ύψους στο χρόνο της *Salvia officinalis* σε διαφορετικές μεταχειρίσεις διαλυμάτων αλατότητας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+H₃BO₃ 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+H₃BO₃ 2φ/εβδ. n=5±SE. Μέσοι που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (P<0,05), η σύγκριση των μέσων των μεταχειρίσεων αφορά στην κάθε χρονική περίοδο μέτρησης.

Στο σχήμα 1 παρατηρείται αρχικά η ομοιογένεια των φυτών ως προς το ύψος τους στις διάφορες επεμβάσεις, όπως αυτό μετρήθηκε πριν την έναρξη των ψεκασμών και υποδηλώνει την ομοιομορφία των φυτών. Στη συνέχεια, παρατηρώντας την υψομετρική διαβάθμιση των φυτών αθροιστικά, από την έναρξη του πειράματος μέχρι το τέλος του, φαίνεται η μεταχείριση SpSb να είχε τη μεγαλύτερη επίδραση στην ανάπτυξη της *Salvia officinalis* και η μεταχείριση SpSBa τη μικρότερη επίδραση σε αυτήν, σε σύγκριση με τους μάρτυρες. Η εφαρμογή διαλύματος με την παρουσία βορικού οξέως σε συχνότητα 1φ./εβδ. (μεταχείριση SpSBa) δεν επέδρασε σημαντικά στο ύψος των φυτών, αφού προωθήθηκε περισσότερο, στο τέλος του πειράματος, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Φυτά που δέχθηκαν την εφαρμογή διαλύματος χλωριούχου νατρίου (NaCl) 2φ./εβδ. (μεταχείριση SpSb) παρουσίασαν το μικρότερο ύψος με σημαντική διαφορά σε σχέση με τους μάρτυρες (CD και CDw) στο τέλος του πειράματος.

1.1.2. Μέτρηση δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index, LAI)



Σχήμα 2 Επίδραση της αλατότητας στο LAI σε φυτά *Salvia officinalis* ανά μεταχείριση. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+H₃BO₃ 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+H₃BO₃ 2φ/εβδ. n=5±SE. Μέσοι που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (P<0,05), η σύγκριση των μέσων των μεταχειρίσεων αφορά στην κάθε χρονική περίοδο μέτρησης.

Παρατηρήθηκε σημαντική μείωση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) των φυτών *Salvia officinalis* (σχήμα 2) σε όλες τις μεταχειρίσεις σε σχέση με τον μάρτυρα

CD, στο τέλος του πειράματος (μέτρηση Σεπτεμβρίου). Οι εφαρμογές ψεκασμών στη μεγαλύτερη συχνότητα (2φ/εβδ.) με NaCl (SpSb) και NaCl+H₃BO₃ (SpSBb) είχαν τη μεγαλύτερη επίδραση και μείωσαν σημαντικά τις τιμές της φυλλικής επιφάνειας στα χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με τους μάρτυρες (CD και CDw).

1.1.3. Μέτρηση πάχους φύλλου (LT)

Πίνακας 3 Πάχος φύλλου (μm) φυτών *Salvia officinalis* ανά μεταχείριση. $n=5\pm SE$. Μέσοι που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ($P<0,05$), η σύγκριση των μέσων των μεταχειρίσεων αφορά στην κάθε χρονική περίοδο μέτρησης.

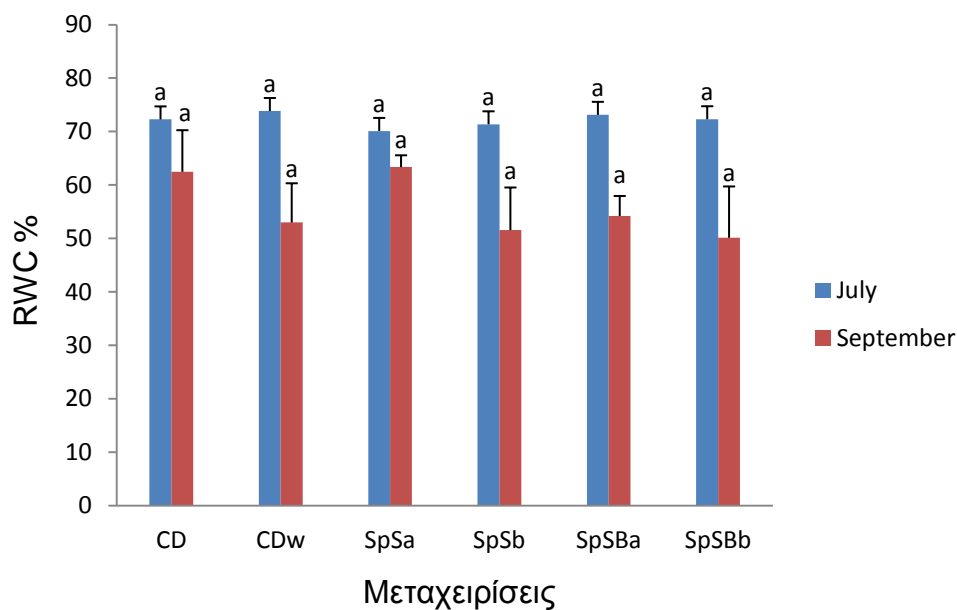
	Ιούλιος	Σεπτέμβριος
CD	0,441 a	0,484 a
CDw	0,382 a	0,487 a
SpSa	0,410 a	0,457 a
SpSb	0,406 a	0,514 a
SpSBa	0,447 a	0,494 a
SpSBb	0,423 a	0,538 a

Σύμφωνα με τον πίνακα 3, δεν παρατηρήθηκε καμία επίδραση στο πάχος των φύλλων της *Salvia officinalis* μεταξύ των μεταχειρίσεων και για τις δύο περιόδους μέτρησης.

1.1.4. Μέτρηση σχετικής περιεκτικότητας σε νερό του φύλλου (RWC)

Στο παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 3) παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της σχετικής περιεκτικότητας σε νερό (RWC) των φύλλων της *Salvia officinalis* σε συνθήκες καταπόνησης λόγω αλατότητας. Είναι εμφανές ότι τα φύλλα δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις τιμές της RWC μεταξύ των επεμβάσεων και σε σχέση με τους μάρτυρες και συγκριτικά μεταξύ τους, και στις δύο περιόδους μέτρησης. Η μείωση τιμών της RWC που παρατηρείται σε όλες τις επεμβάσεις την περίοδο Σεπτεμβρίου πιθανώς να οφείλεται σε αλλαγές που σχετίζονται με την ηλικία των φύλλων.

Πριν την έναρξη των εφαρμογών, ο μέσος όρος των μετρήσεων της RWC για πέντε δείγματα του φυτού *Salvia officinalis* ήταν 54,75%.



Σχήμα 3 Επίδραση της αλατότητας στην RWC σε φυτά *Salvia officinalis* ανά μεταχείριση. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H_2O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+ H_3BO_3 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+ H_3BO_3 2φ/εβδ. $n=5\pm SE$. Μέσοι που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ($P<0,05$), η σύγκριση των μέσων των μεταχειρίσεων αφορά στην κάθε χρονική περίοδο μέτρησης.

1.2. Αξιολόγηση φυσιολογικών δεικτών ανάπτυξης φυτών

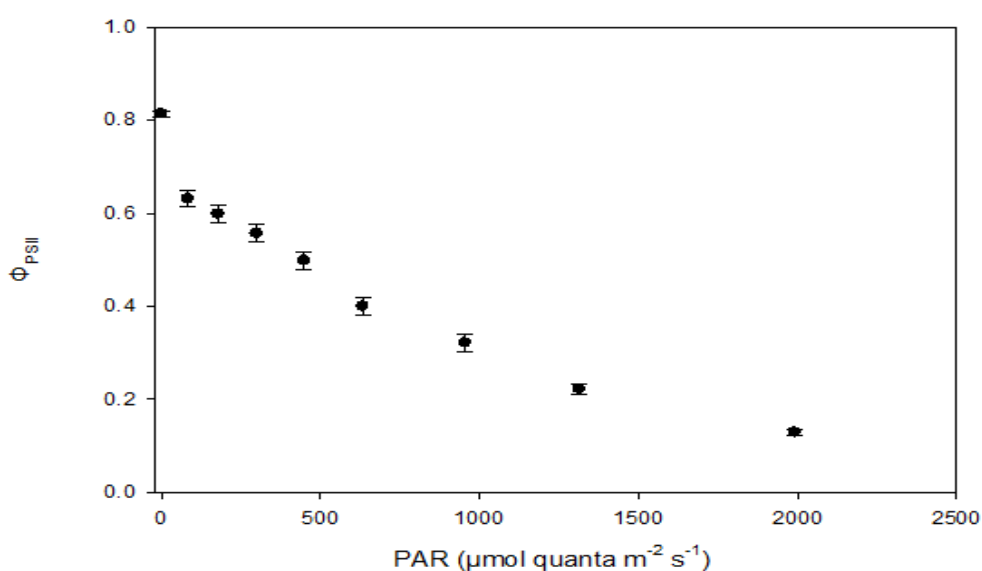
Η εκτίμηση της φυσιολογικής κατάστασης των φυτών έγινε στη βάση των μετρήσεων που αφορούσαν στη λειτουργική φωτονιακή απόδοση (Φ) της φωτοχημείας του φωτοσυστήματος II (Φ_{PSII}), το φαινόμενο ρυθμό ροής ηλεκτρονίων (ETR), τον συντελεστή φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (qP) και τους συντελεστές μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (qN και NPQ). Σε κάθε περίοδο μέτρησης αρχικά μετρήθηκε και η θεμελιώδης φωτονιακή απόδοση της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSII_0}).

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα των φωτοχημικών παραμέτρων (Φ_{PSII} , ETR, qP, qN, NPQ και Φ_{PSII_0}) σε όλες τις μεταχειρίσεις και τους μάρτυρες, αναλυτικά για κάθε περίοδο μέτρησης.

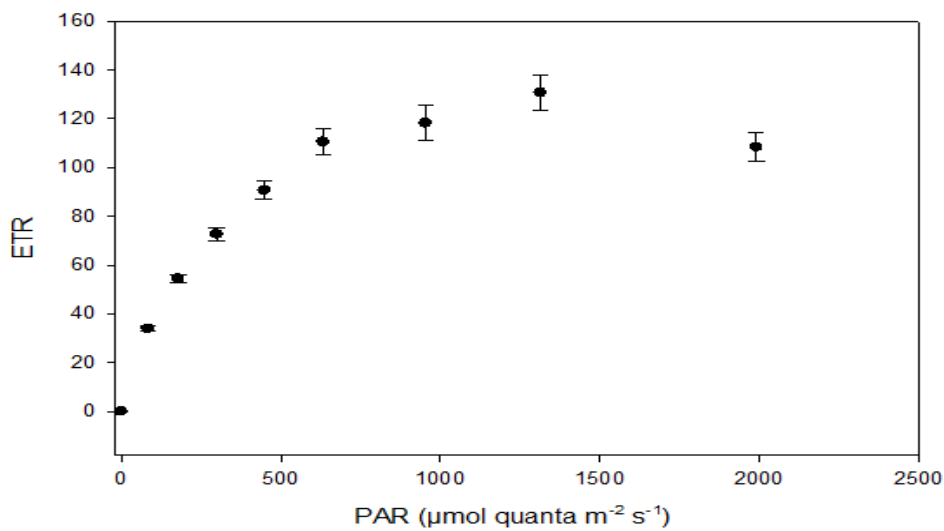
Αρχικές μετρήσεις : Ιούνιος (1^η μέτρηση)

Πριν την έναρξη των εφαρμογών και ένα μήνα μετά τη μεταφύτευση, σε εγκατεστημένα φυτά *Salvia officinalis* έγιναν μετρήσεις των φυσιολογικών παραμέτρων που παρουσιάζονται στη συνέχεια.

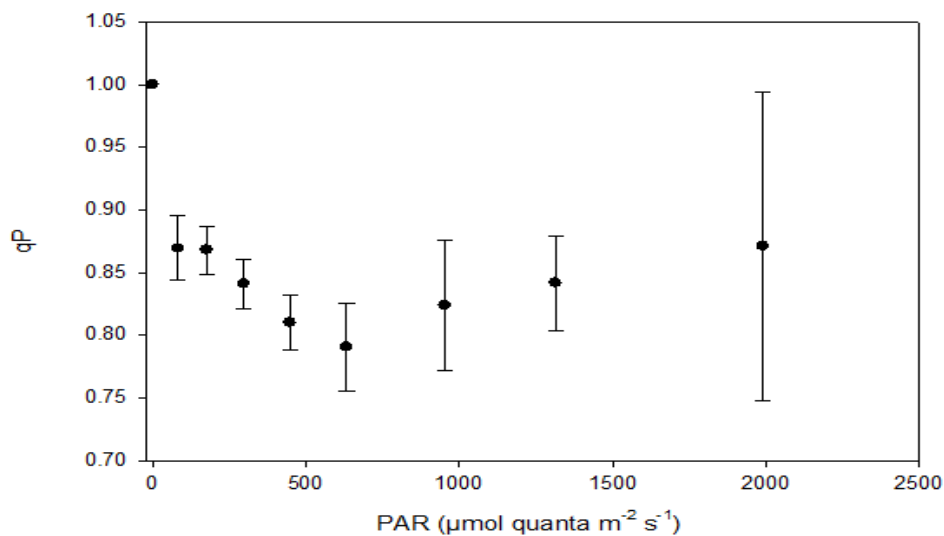
Θεμελιώδης φωτονιακή απόδοση της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSII}): Η τιμή διαμορφώθηκε από μετρήσεις που έγιναν σε πέντε φυτά (επαναλήψεις) και σημείωσε την τιμή $0,81 \pm 0,014$.



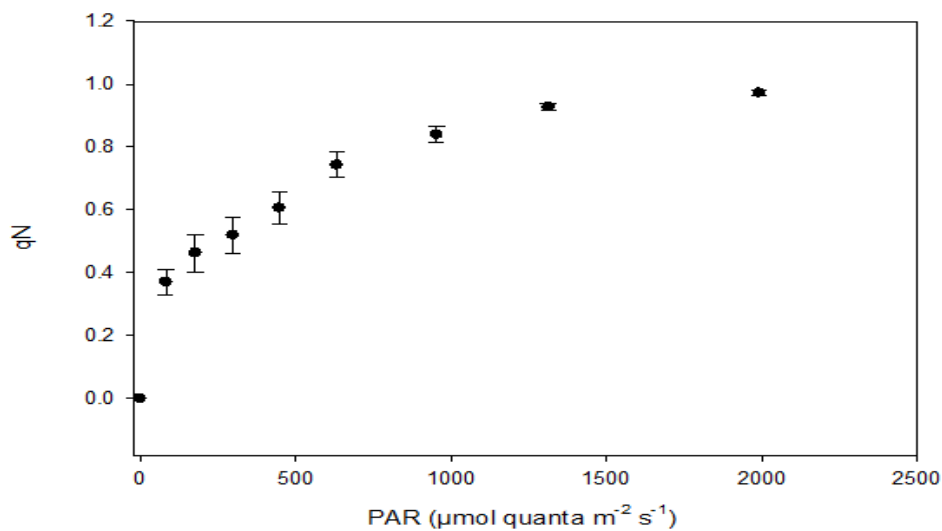
Σχήμα 4 Συσχέτιση μεταξύ της λειτουργικής φωτονιακής απόδοσης της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSII}) και της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis* σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας $n=5 \pm SE$.



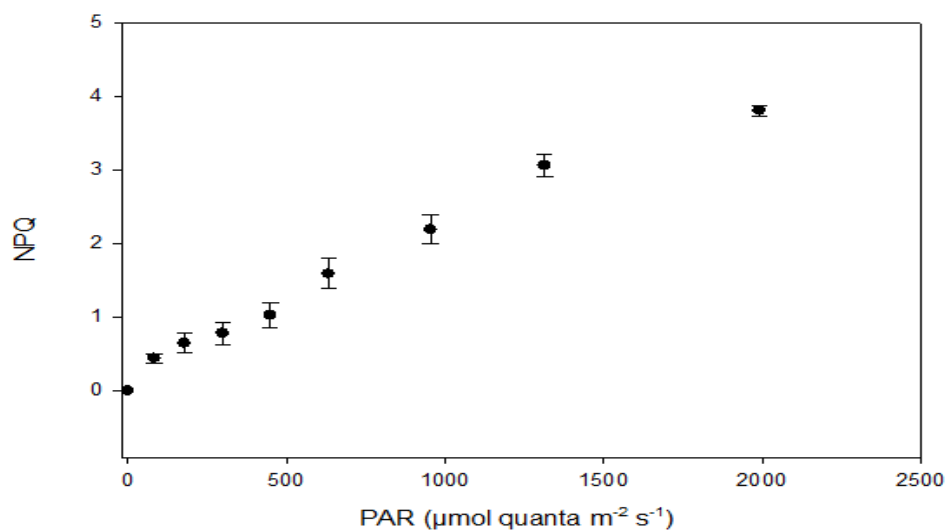
Σχήμα 5 Συσχέτιση μεταξύ του φαινόμενου ρυθμού ροής ηλεκτρονίων (ETR) και της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis* σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας $n=5\pm SE$.



Σχήμα 6 Συσχέτιση μεταξύ του συντελεστή φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (qP) και της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis* σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας $n=5\pm SE$.



Σχήμα 7 Συσχέτιση μεταξύ του συντελεστή μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (qN) και της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis* σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας $n=5\pm SE$.

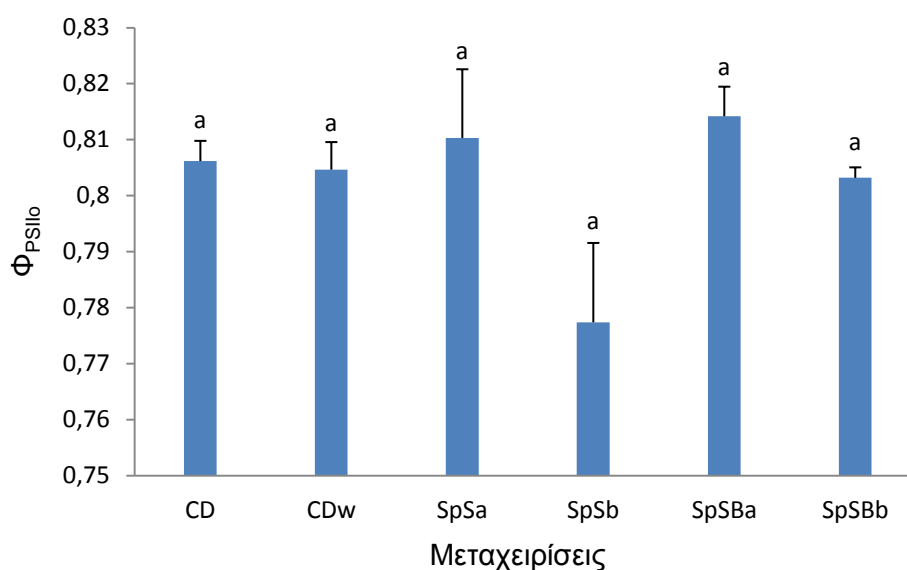


Σχήμα 8 Συσχέτιση μεταξύ του συντελεστή μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (NPQ) και της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis* σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας $n=5\pm SE$.

Σε γενικές γραμμές, οι καμπύλες φωτός των φωτοχημικών παραμέτρων (σχήματα 4-8) είναι φυσιολογικές και υποδηλώνουν υγιή φυτά σε καλή φυσιολογική κατάσταση κατά την εγκατάστασή τους. Υπό σταθερές συνθήκες φωτισμού, η

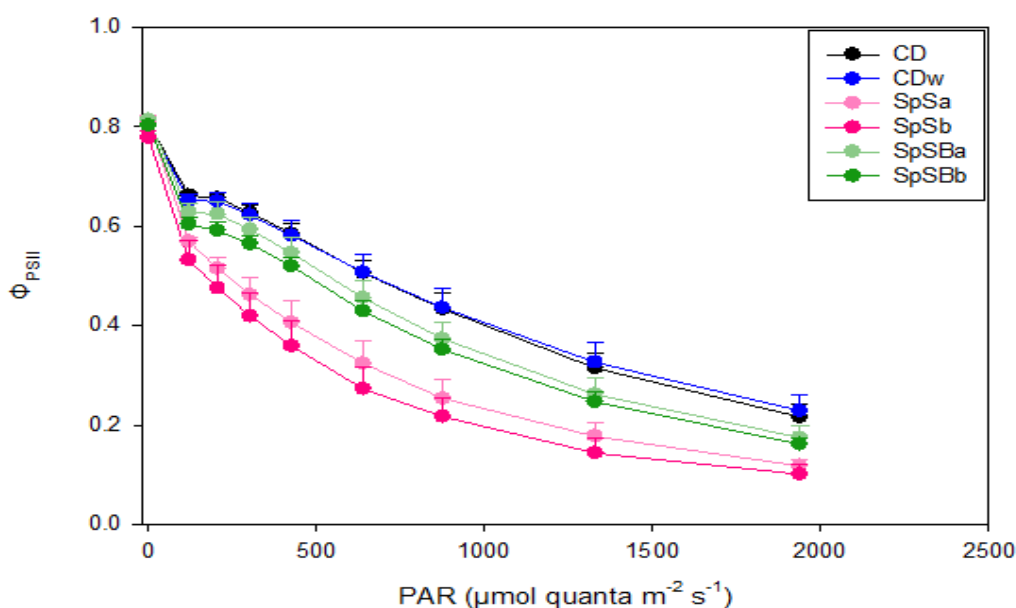
λειτουργική φωτοχημική απόδοση της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSII}) ακολουθεί μια κανονική καμπύλη απόκρισης στην αύξηση της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι τιμές του φαινόμενου ρυθμού ροής ηλεκτρονίων (ETR) της φωτοχημικής αλυσίδας είναι φυσιολογικές εκφράζοντας ικανοποιητικό ρυθμό διενέργειας των φωτοχημικών αντιδράσεων ενώ (μικρός βαθμός φωτοαναστολής) παρατηρήθηκε σε υψηλές εντάσεις ακτινοβολίας, μεγαλύτερες των 1500 $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Οι τιμές του συντελεστή φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (qP) είναι υψηλές υποδηλώνοντας τη μεγάλη χωρητικότητα της φωτοχημικής αλυσίδας. Ο συντελεστής qN, ο οποίος περιλαμβάνει όλες τις διεργασίες μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII, παρουσιάζει φυσιολογικές τιμές και ο συντελεστής μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού μέσω θερμικών απωλειών (NPQ) αποδίδει επίσης μια φυσιολογική καμπύλη απόκρισης της παραμέτρου στην αύξηση της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας..

Ιούλιος (2^η μέτρηση)



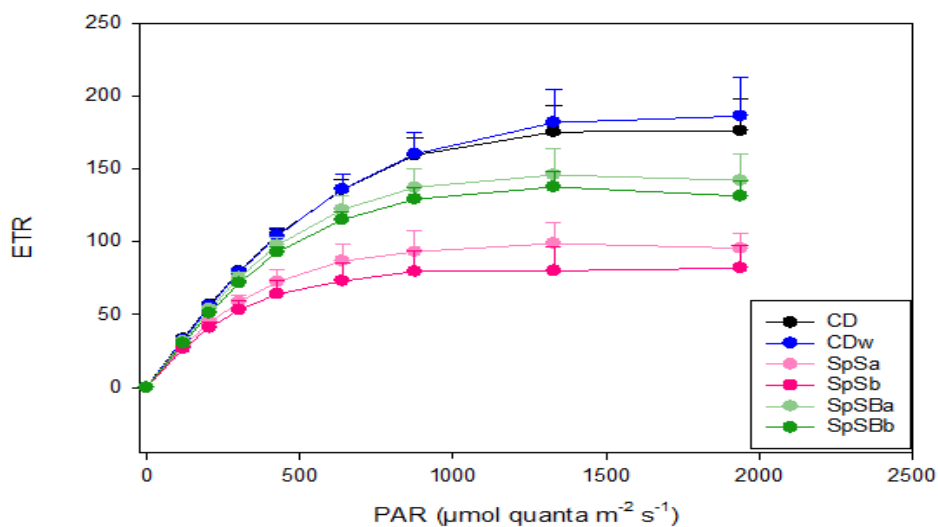
Σχήμα 9 Τιμές θεμελιώδους φωτονιακής απόδοσης της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSIIo}) για τα φυτά *Salvia officinalis* των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb), 2 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+H₃BO₃ 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+H₃BO₃ 2φ/εβδ. n=5±SE. Μέσοι που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (P<0,05).

Στο παραπάνω σχήμα παρατηρείται ότι στη μεταχείριση SpSb οι τιμές της παραμέτρου Φ_{PSIIo} ήταν μικρότερες συγκριτικά με τα φυτά όλων των άλλων μεταχειρίσεων χωρίς να σημειώνεται στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Ωστόσο οι τιμές της παραμέτρου Φ_{PSIIo} ήταν σε όλες τις μεταχειρίσεις σε σχετικά υψηλά επίπεδα υποδηλώνοντας την απουσία σοβαρών βλαβών στα φυτά.



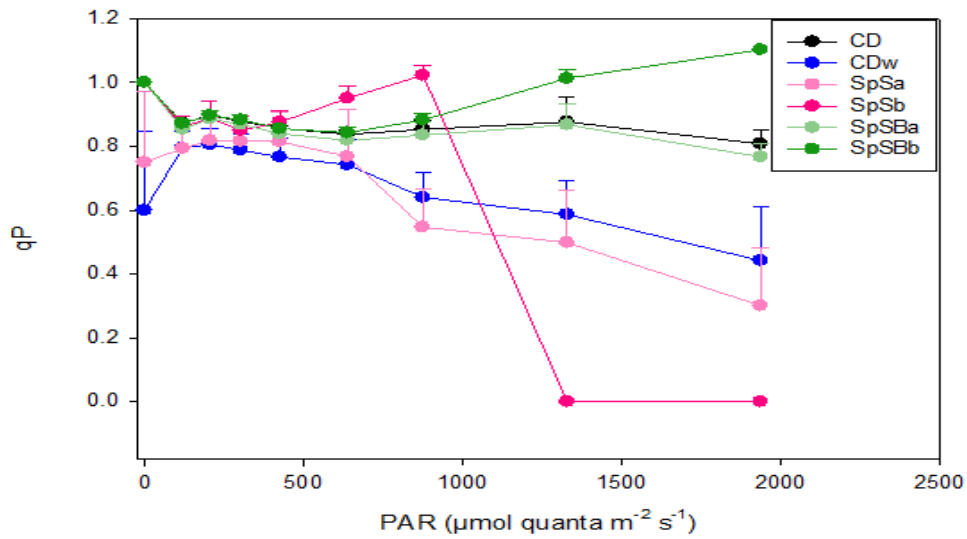
Σχήμα 10 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb) στη λειτουργική φωτονιακή απόδοση της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSII}) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis*, 2 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H_2O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+ H_3BO_3 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+ H_3BO_3 2φ/εβδ. $n=5 \pm SE$.

Στο διάγραμμα του σχήματος 10 παρατηρείται πλήρης ταύτιση στις τιμές της λειτουργικής φωτονιακής απόδοσης της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSII}) για όλες τις εντάσεις μεταξύ των δύο τύπων μάρτυρα (CD και CDw). Μικρή μείωση στις τιμές της παραμέτρου παρατηρούνται για τις μεταχειρίσεις στις οποίες συμμετέχει το βορικό οξύ και στις δύο συχνότητες (SpSBa και SpSBb), ενώ μεγαλύτερη μείωση συγκριτικά με τους μάρτυρες παρατηρείται στις μεταχειρίσεις μόνο με χλωριούχο νάτριο (SpSa και SpSb), όπου σημειώθηκαν οι χαμηλότερες τιμές της παραμέτρου. Μεταξύ των δύο συχνοτήτων εφαρμογής της κάθε μεταχείρισης σημειώνονται σχετικά διακριτές διαφορές.

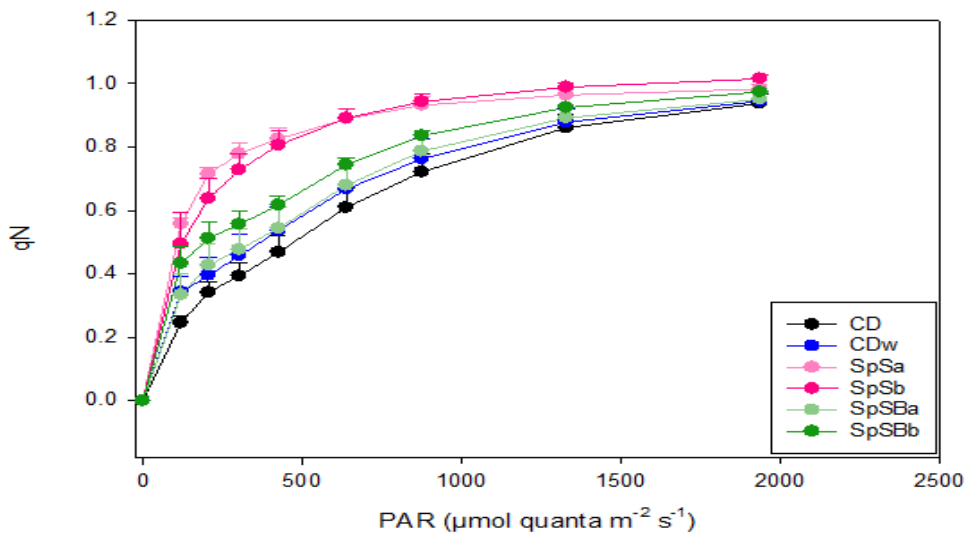


Σχήμα 11 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb) στο φαινόμενο ρυθμό ροής ηλεκτρονίων (ETR) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis*, 2 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+H₃BO₃ 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+H₃BO₃ 2φ/εβδ. n=5±SE.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται σημαντική διαφορά στο φαινόμενο ρυθμό ροής ηλεκτρονίων (ETR) στα φυτά που έχουν δεχθεί επέμβαση με χλωριούχο νάτριο και στις δύο συχνότητες εφαρμογής (SpSa και SpSb) συγκριτικά με τους μάρτυρες, καθώς σημείωσαν τις χαμηλότερες τιμές, γεγονός το οποίο δείχνει πως δεν αξιοποιούν στο βέλτιστο βαθμό την ενέργεια για την παραγωγή φωτοχημικού έργου. Ενδιάμεσες τιμές παρατηρήθηκαν στα δείγματα που δέχθηκαν επέμβαση με χλωριούχο νάτριο και βορικό οξύ (SpSBa και SpSBb). Είναι εμφανές ότι στο αποτέλεσμα αυτό σημαντικό ρόλο παίζει η παρουσία του βορικού οξέος στο διάλυμα επέμβασης, ενώ τα δείγματα που δέχονταν την κάθε επέμβαση δύο φορές την εβδομάδα έδειξαν χαμηλότερο ρυθμό ροής ηλεκτρονίων σε σύγκριση με αυτά που τη δέχονταν μία φορά. Προκύπτει λοιπόν, πως το διάλυμα χλωριούχου νατρίου και βορικού οξέος είχε ως αποτέλεσμα την άμβλυνση της δυσμενούς επίδρασης του NaCl.

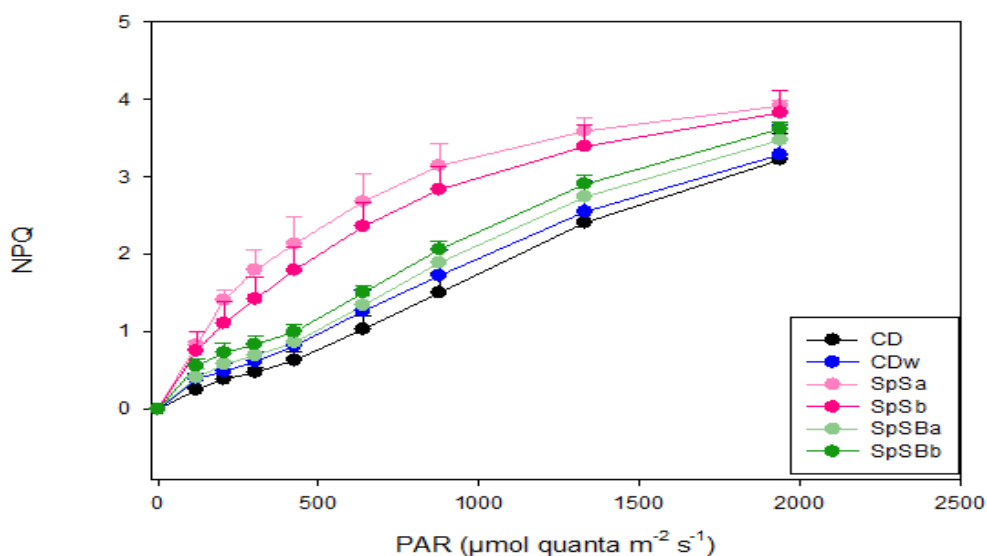


Σχήμα 12 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (*CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb*) στο συντελεστή φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (*qP*) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis*, 2 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. *CD*: μάρτυρας *CDw*: μάρτυρας με ψεκασμό H_2O 2φ/εβδ. *SpSa*: $NaCl$ 1φ/εβδ. *SpSb*: $NaCl$ 2φ/εβδ. *SpSBa*: $NaCl+H_3BO_3$ 1φ/εβδ. *SpSBb*: $NaCl+H_3BO_3$ 2φ/εβδ. $n=5\pm SE$.



Σχήμα 13 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (*CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb*) στο συντελεστή μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (*qN*) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis*, 2 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. *CD*: μάρτυρας *CDw*: μάρτυρας με ψεκασμό H_2O 2φ/εβδ. *SpSa*: $NaCl$ 1φ/εβδ. *SpSb*: $NaCl$ 2φ/εβδ. *SpSBa*: $NaCl+H_3BO_3$ 1φ/εβδ. *SpSBb*: $NaCl+H_3BO_3$ 2φ/εβδ. $n=5\pm SE$.

Όπως παρατηρούμε στο διάγραμμα του σχήματος 13, τα δείγματα που δέχθηκαν επέμβαση με χλωριούχο νάτριο έδωσαν τις υψηλότερες τιμές του συντελεστή μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (qN) και στις δύο συχνότητες εφαρμογής (SpSa και SpSb) με πλήρη ταύτιση των τιμών του συντελεστή και στις δύο συχνότητες εφαρμογών. Οι τιμές του δείκτη qN για τους χειρισμούς SpSBa και SpSBb είναι παρόμοιες με αυτές των CD και CD_w και κυμαίνονται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα από αυτές των φυτών που δέχθηκαν ψεκασμούς με NaCl και στις δύο συχνότητες εφαρμογών στο μεγαλύτερο εύρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

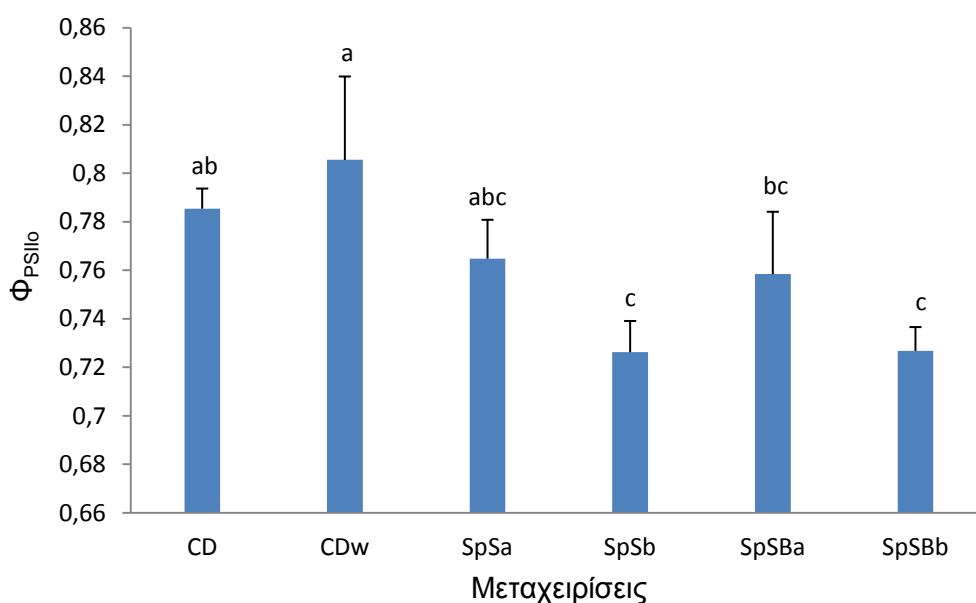


Σχήμα 14 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CD_w, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb) στο συντελεστή μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (NPQ) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis* ηλικίας, 2 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CD_w: μάρτυρας με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+H₃BO₃ 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+H₃BO₃ 2φ/εβδ. n=5±SE.

Σύμφωνα με το σχήμα 14, τα δείγματα που δέχθηκαν επέμβαση με NaCl και στις δύο συχνότητες εφαρμογής (SpSa και SpSb) έδωσαν τις υψηλότερες τιμές του συντελεστή μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (NPQ) σε σχέση με τους μάρτυρες και τις επεμβάσεις με NaCl+H₃BO₃. Συνεπώς, φαίνεται πως τα φυτά των μεταχειρίσεων SpSa και SpSb δεν αξιοποιούν στο βέλτιστο

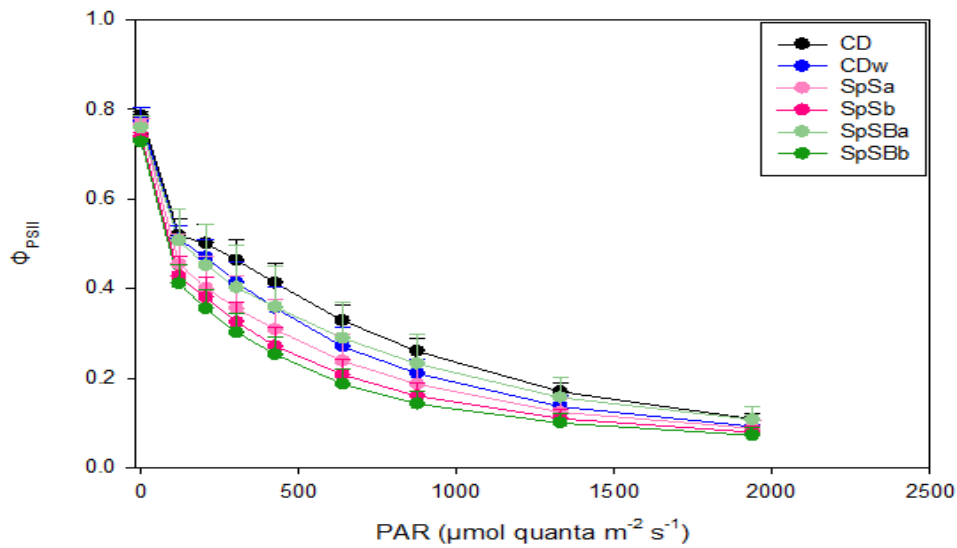
βαθμό την ενέργεια για την παραγωγή φωτοχημικού έργου με αποτέλεσμα το φυτό να αυξάνει την εμπλοκή των φωτοπροστατευτικών μηχανισμών. Οι χειρισμοί SpSBa και SpSBb δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο συχνοτήτων, ενώ έδωσαν ενδιάμεσες τιμές μεταξύ των μεταχειρίσεων (CD, CDw καθώς και SpSa, SpSb).

Σεπτέμβριος (3^η μέτρηση)



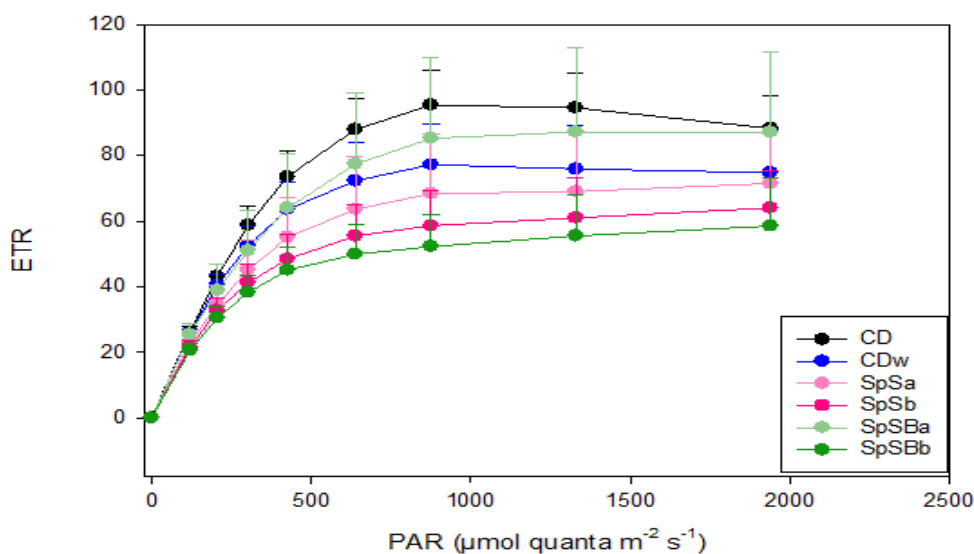
Σχήμα 15 Τιμές θεμελιώδους φωτονιακής απόδοσης της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSIIo}) για τα φυτά *Salvia officinalis* των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb), 4 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H_2O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+ H_3BO_3 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+ H_3BO_3 2φ/εβδ. $n=5\pm SE$. Μέσοι που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ($P<0,05$).

Στο παραπάνω σχήμα παρατηρείται ότι γενικώς σε όλες τις μεταχειρίσεις τα φυτά έδωσαν υψηλές τιμές της παραμέτρου Φ_{PSIIo} υποδηλώνοντας απουσία σοβαρών βλαβών από καταπόνηση λόγω αλατότητας. Ωστόσο, στη μεγάλη συχνότητα εφαρμογής των μεταχειρίσεων (SpSb και SpSBb) τα φυτά φαίνονται περισσότερο καταπονημένα, γεγονός το οποίο προκύπτει από τις σημαντικά χαμηλότερες τιμές που σημειώνει η παράμετρος συγκριτικά με τους μάρτυρες.



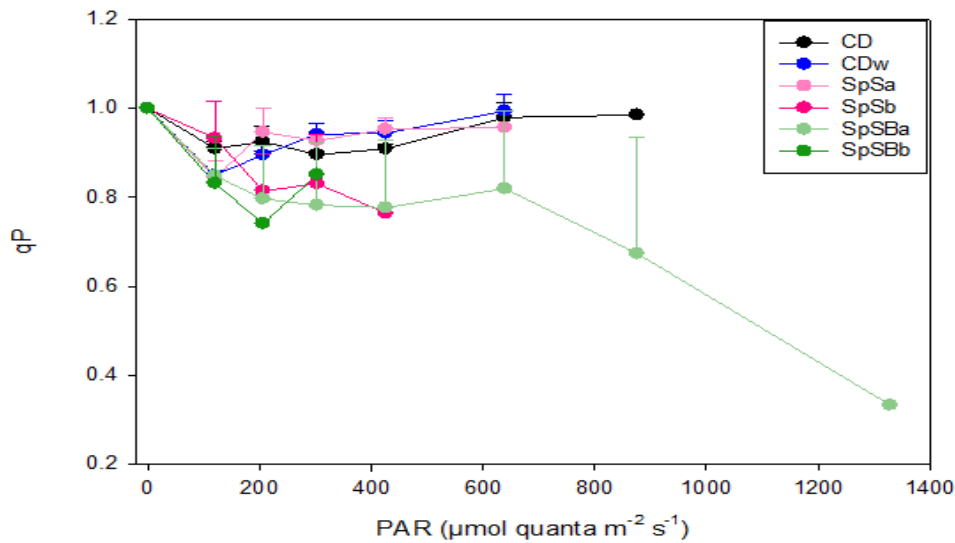
Σχήμα 16 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb) στη λειτουργική φωτονιακή απόδοση της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSII}) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis*, 4 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H_2O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+ H_3BO_3 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+ H_3BO_3 2φ/εβδ. $n=5\pm SE$.

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται πως παρατηρείται σημαντική επίδραση της αλατότητας στη λειτουργική φωτονιακή απόδοση της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSII}) στη μέγιστη ένταση φωτός ειδικά στη υψηλή συχνότητα εφαρμογής (2φ/εβδ.). Το αποτέλεσμα αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές. Στις χαμηλές εντάσεις ακτινοβολίας (300-1000 $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$) όπου παρατηρείται μεγάλη πτώση της Φ_{PSII} σε φυτά που δέχθηκαν ψεκασμό με NaCl και στις δύο συχνότητες εφαρμογής (SpSb και SpSa) σε σχέση με τους μάρτυρες (CD και CDw). Μικρότερες διαφορές παρατηρούνται μεταξύ των μεταχειρίσεων μεγάλης συχνότητας εφαρμογής και των υπόλοιπων μεταχειρίσεων.

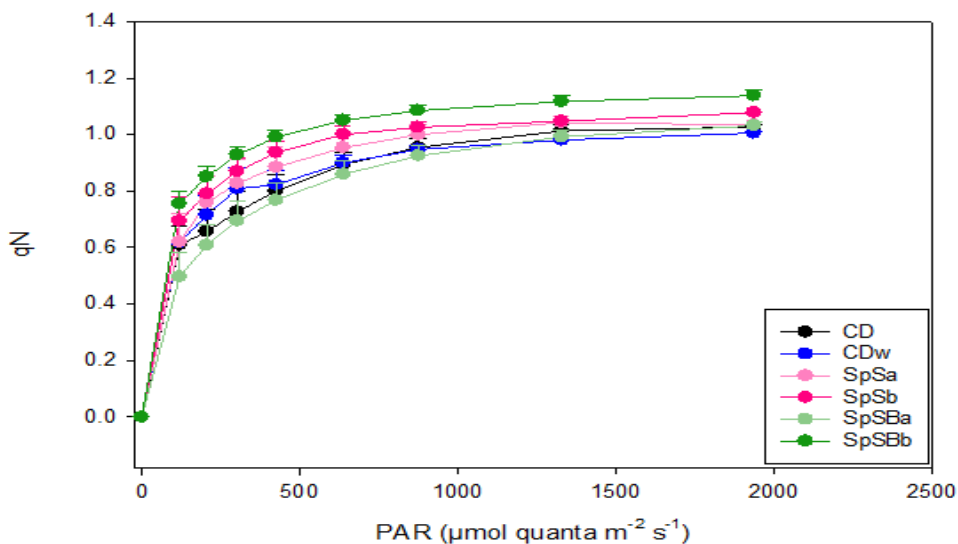


Σχήμα 17 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb) στο φαινόμενο ρυθμό ροής ηλεκτρονίων (ETR) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis*, 4 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+H₃BO₃ 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+H₃BO₃ 2φ/εβδ. n=5±SE.

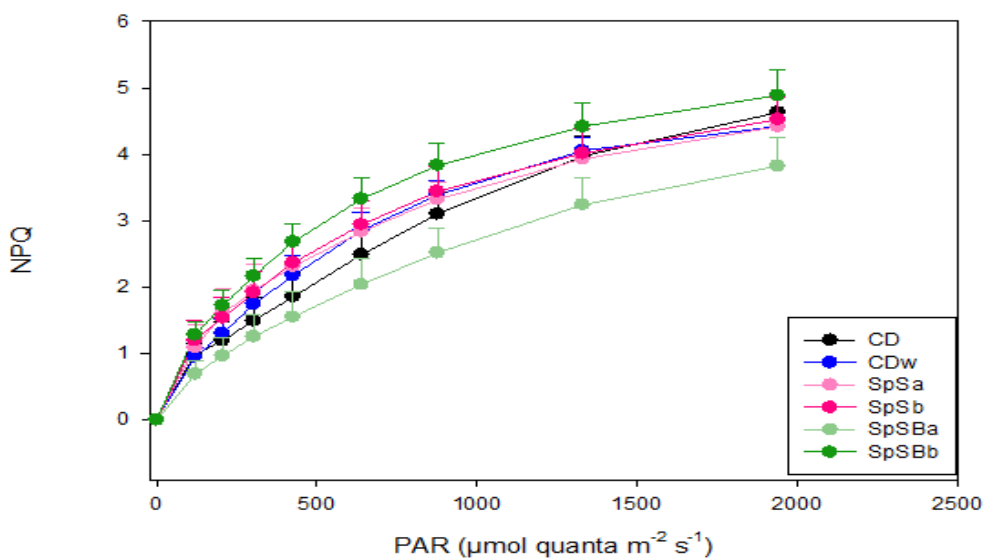
Στο διάγραμμα του σχήματος 17 φαίνεται πως ο μάρτυρας (CD) δίνει τον υψηλότερο ρυθμό ροής ηλεκτρονίων και αξιοποιεί επαρκώς την ενέργεια, ενώ αντίθετα παρατηρείται σημαντική μείωση στα φυτά των μεταχειρίσεων SpSb και SpSBb. Είναι εμφανές ότι στο αποτέλεσμα αυτό σημαντικό ρόλο παίζει η συχνότητα εφαρμογής, αφού τα δείγματα που δέχονταν την κάθε επέμβαση δύο φορές την εβδομάδα (SpSb και SpSBb) έδειξαν χαμηλότερο ρυθμό ροής ηλεκτρονίων σε σχέση με αυτά που τη δέχονταν μία φορά (SpSa και SpSBa).



Σχήμα 18 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb) στο συντελεστή φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (qP) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis*, 4 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H_2O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+ H_3BO_3 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+ H_3BO_3 2φ/εβδ. $n=5\pm SE$.



Σχήμα 19 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb) στο συντελεστή μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (qN) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis*, 4 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H_2O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+ H_3BO_3 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+ H_3BO_3 2φ/εβδ. $n=5\pm SE$.



Σχήμα 20 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb) στο συντελεστή μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (NPQ) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis*, 4 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+H₃BO₃ 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+H₃BO₃ 2φ/εβδ. n=5±SE.

Στα διαγράμματα των σχημάτων 19 και 20, σημειώνεται ότι η μεταχείριση NaCl+H₃BO₃ στη μεγαλύτερη συχνότητα (SpSBb) έδωσε μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (qN και NPQ) σε σχέση με τους μάρτυρες και τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις σε όλες τις εντάσεις της φωτεινής ακτινοβολίας. Αντίθετα, δείγματα, τα οποία δέχθηκαν το ίδιο διάλυμα μία φορά την εβδομάδα (SpSBa) εμφάνισαν τις χαμηλότερες τιμές των συντελεστών qN και NPQ. Οι χειρισμοί SpSa και SpSb δε διέφεραν μεταξύ τους όσο και συγκριτικά με τους δύο τύπους μάρτυρα (CD και CD_w), ενώ ακολούθησαν μια ενδιάμεση πορεία τιμών του συντελεστή NPQ.

1.3. Φωτοσυνθετικές παράμετροι

Οι φωτοσυνθετικές παράμετροι οι οποίες μετρήθηκαν είναι:

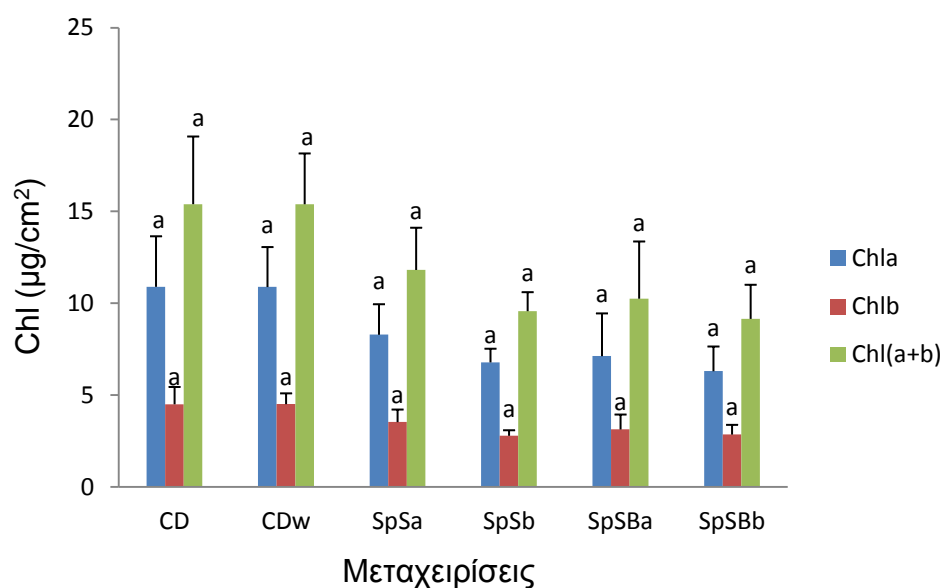
- η συγκέντρωση των χλωροφυλλών (Chla, Chlb και Chl_(a+b))
- η φωτοσυνθετική ταχύτητα (A)
- η διαπνοή (E)
- η στοματική αγωγιμότητα (g_s)

1.3.1. Συγκέντρωση χλωροφυλλών

Αρχικές μετρήσεις : Ιούνιος (1^η μέτρηση)

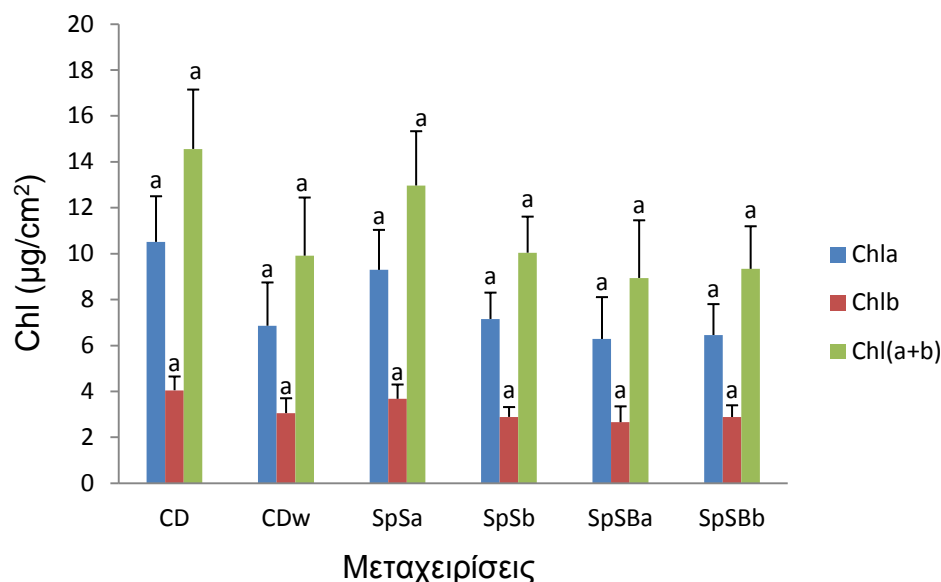
Πριν την έναρξη των εφαρμογών και ένα μήνα μετά τη μεταφύτευση, σε εγκατεστημένα φυτά *Salvia officinalis* ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των χλωροφυλλών σε πέντε φυτά (επαναλήψεις) ήταν $10,91 \pm 2,22 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ για τη Chla, $3,73 \pm 0,54 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ για τη Chlb και συνολικά $14,65 \pm 2,73 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ Chl(a+b). Οι τιμές της συγκέντρωσης των χλωροφυλλών για κάθε περίοδο μέτρησης παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Ιούλιος (2^η μέτρηση)



Σχήμα 21 Επίδραση της αλατότητας στη συγκέντρωση των χλωροφυλλών *a*, *b* και ολική, ανά μεταχείριση, σε φυτά *Salvia officinalis*, 2 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+H₃BO₃ 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+H₃BO₃ 2φ/εβδ. n=5±SE. Μέσοι που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (P<0,05), η σύγκριση των μέσων των μεταχειρίσεων αφορά στην κάθε χρονική περίοδο μέτρησης.

Σεπτέμβριος (3^η μέτρηση)



Σχήμα 22 Επίδραση της αλατότητας στη συγκέντρωση των χλωροφυλλών *a*, *b* και ολική, ανά μεταχείριση, σε φυτά *Salvia officinalis*, 4 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+H₃BO₃ 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+H₃BO₃ 2φ/εβδ. n=5±SE. Μέσοι που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (P<0,05), η σύγκριση των μέσων των μεταχειρίσεων αφορά στην κάθε χρονική περίοδο μέτρησης.

Η συνολική συγκέντρωση χλωροφυλλών ανά επιφάνεια φύλλου δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών χειρισμών. Γενικώς, παρατηρείται μείωση της συνολικής συγκέντρωσης χλωροφυλλών ανά επιφάνεια φύλλου σε όλες τις μεταχειρίσεις και για τις δύο περιόδους μέτρησης (Ιούλιο και Σεπτέμβριο) συγκριτικά με τους μάρτυρες (σχήμα 21 και 22). Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα πως η αλατότητα είχε αρνητική επίδραση στη συγκέντρωση των χλωροφυλλών στα φυτά *Salvia officinalis*.

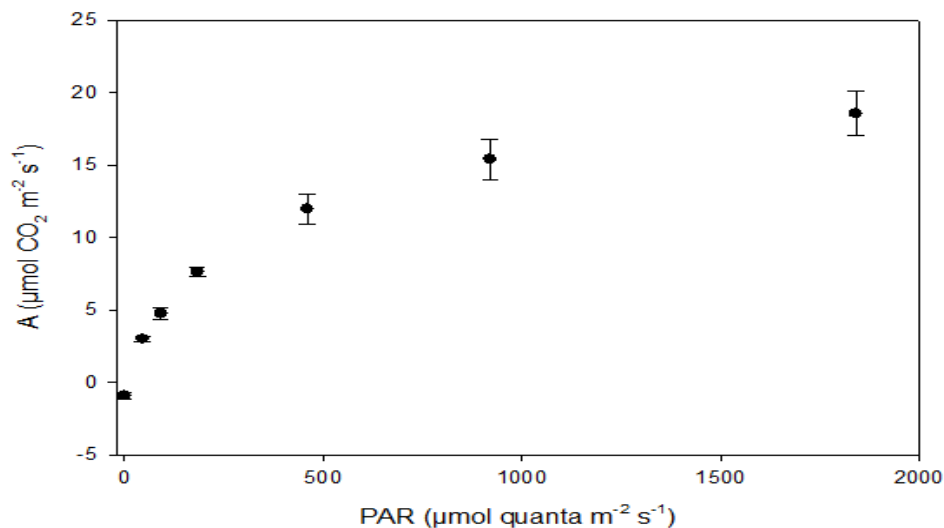
1.3.2. Μετρήσεις παραμέτρων φωτοσύνθεσης

Η εκτίμηση της φωτοσύνθεσης των φυτών έγινε στη βάση των μετρήσεων που αφορούσαν τη φωτοσυνθετική ταχύτητα (A), τη διαπνοή (E) και τη στοματική αγωγιμότητα (g_s).

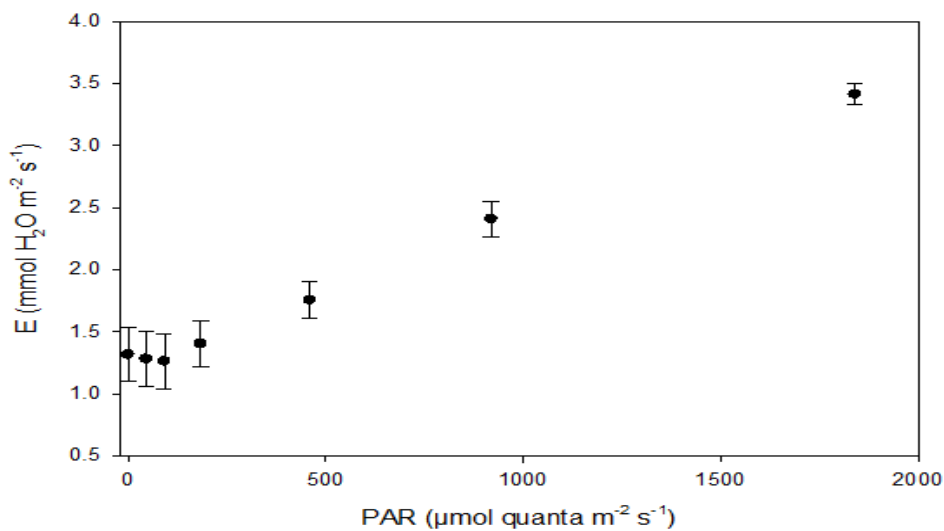
Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της κάθε φωτοσυνθετικής παραμέτρου χωριστά, όπως καταγράφηκαν σε κάθε μεταχείριση, πριν την έναρξη των εφαρμογών και στις χρονικές περιόδους μέτρησης, του Ιουλίου (δυσμενής περιόδου) και του Σεπτεμβρίου (τέλος πειράματος).

Αρχικές μετρήσεις : Ιούνιος (1^η μέτρηση)

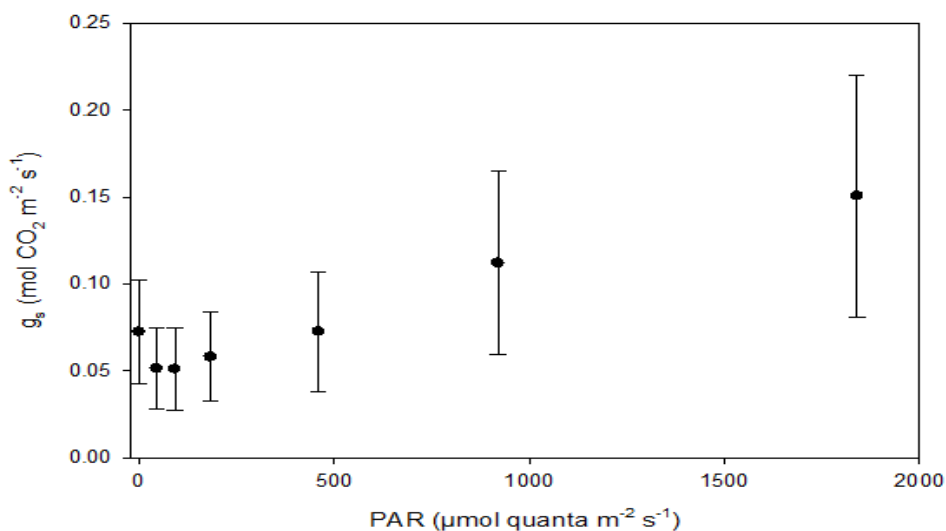
Πριν την έναρξη των εφαρμογών και ένα μήνα μετά τη μεταφύτευση, σε εγκατεστημένα φυτά *Salvia officinalis*, έγιναν μετρήσεις των παραμέτρων της φωτοσύνθεσης που παρουσιάζονται στη συνέχεια.



Σχήμα 23 Συσχέτιση μεταξύ της φωτοσυνθετικής ταχύτητας (A) και της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis*, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας $n=5 \pm SE$.



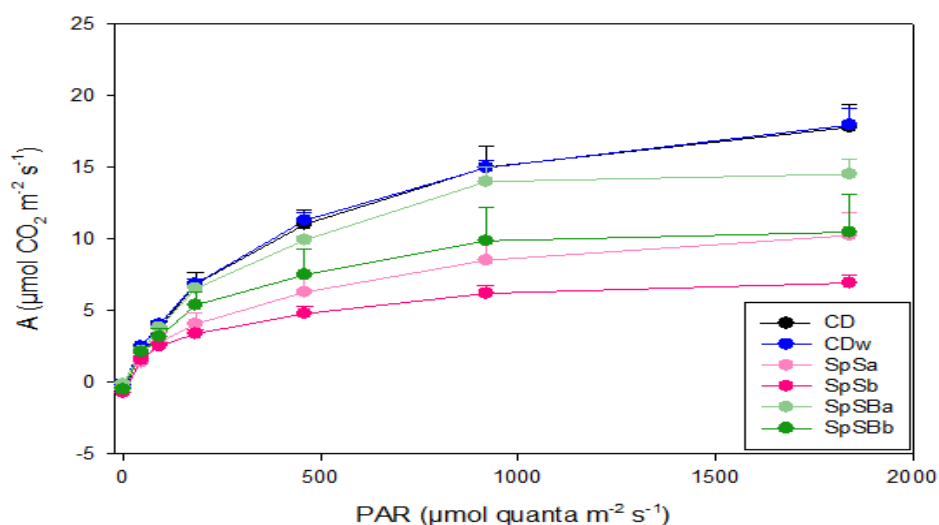
Σχήμα 24 Συσχέτιση μεταξύ της ταχύτητας διαπνοής (E) και της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis*, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας $n=5\pm SE$.



Σχήμα 25 Συσχέτιση μεταξύ της στοματική αγωγιμότητα (g_s) και της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis*, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας $n=5\pm SE$.

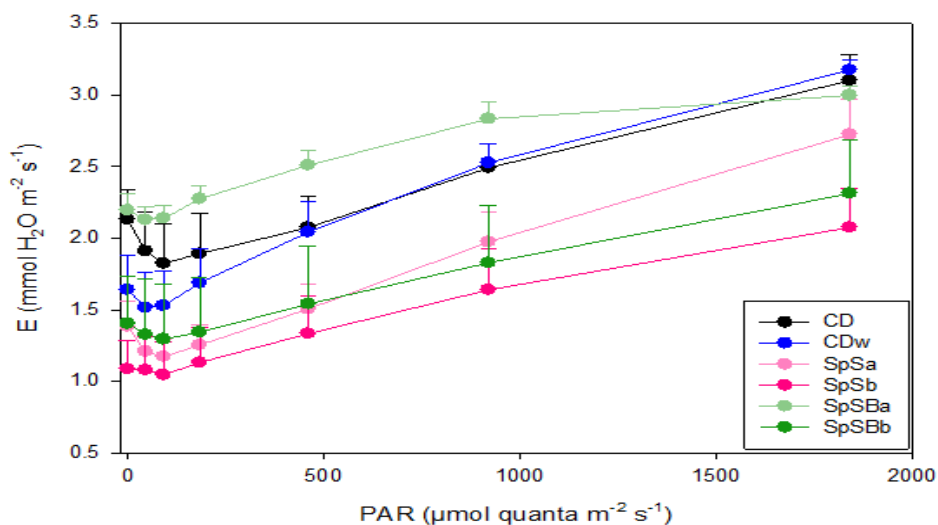
Σε γενικές γραμμές, οι καμπύλες των φυσιολογικών παραμέτρων (σχήματα 23-25) είναι φυσιολογικές και υποδηλώνουν υγιή φυτά τη στιγμή της πρώτης εγκατάστασης.

Ιούλιος (2^η μέτρηση)



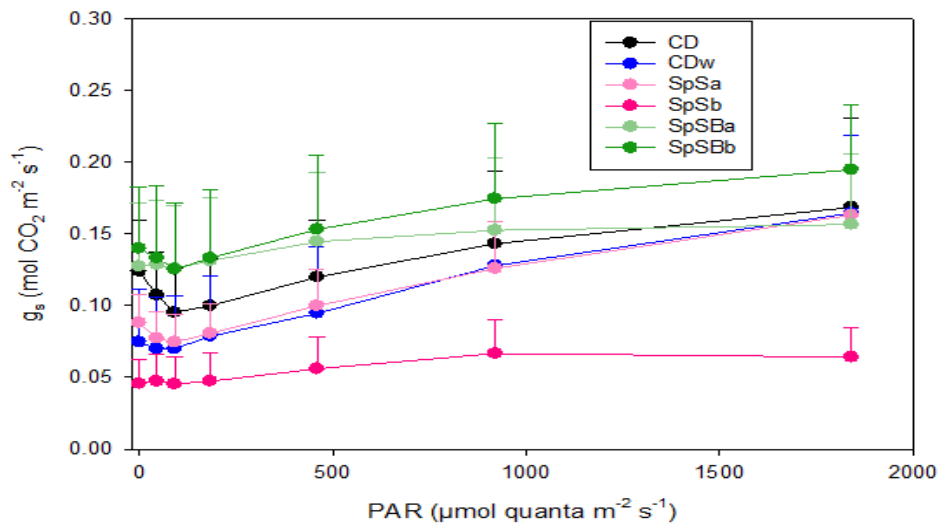
Σχήμα 26 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb) στη φωτοσυνθετική ταχύτητα (A) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis*, 2 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+H₃BO₃ 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+H₃BO₃ 2φ/εβδ. n=5±SE.

Στο διάγραμμα του σχήματος 26 παρατηρείται αύξηση των τιμών της φωτοσυνθετικής ταχύτητας (A) σε όλες τις μεταχειρίσεις έως τα 1000 μmol quanta m⁻² s⁻¹. Σε υψηλότερες εντάσεις της προσπίπτουσας ακτινοβολίας παρατηρείται γενικά σταθεροποίηση των τιμών της παραμέτρου A για κάθε μεταχείριση. Οι μάρτυρες (CD και CDw) σημειώνουν τις υψηλότερες τιμές της A, ενώ οι χαμηλότερες τιμές σημειώνονται στις μεταχειρίσεις με ψεκασμό διαλύματος NaCl και στις δύο συχνότητες εφαρμογής (SpSa και SpSb). Ενδιάμεσες τιμές παρατηρούνται για τις μεταχειρίσεις συνδυασμού NaCl και H₃BO₃ (SpSBa και SpSBb).



Σχήμα 27 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb) στην ταχύτητα διαπνοής (E) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis*, 2 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+H₃BO₃ 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+H₃BO₃ 2φ/εβδ. n=5±SE.

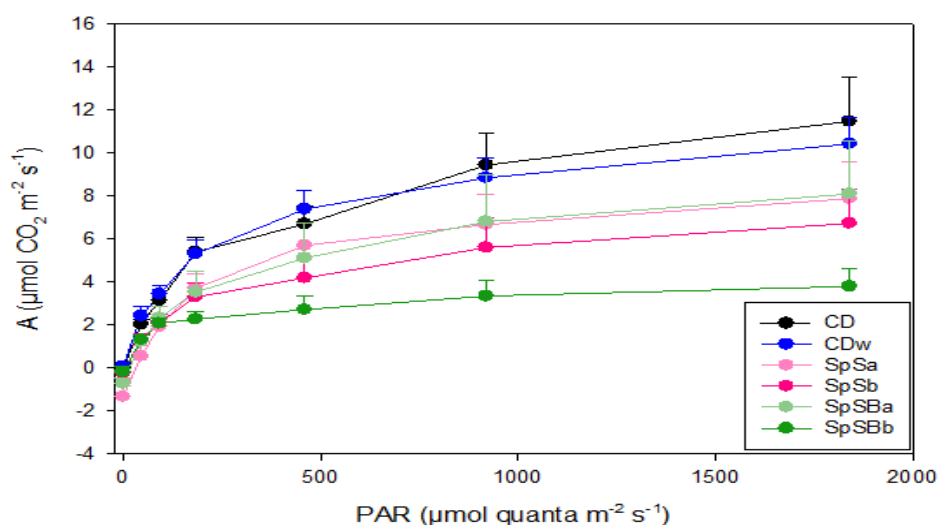
Σύμφωνα με το σχήμα 27, οι υψηλότερες τιμές διαπνοής παρατηρούνται στα φυτά μάρτυρες (CD και CDw) καθώς και σε αυτά που εφαρμόστηκε διάλυμα NaCl+H₃BO₃ με συχνότητα 1φ/εβδ. (μεταχείριση SpSBa), γεγονός το οποίο δείχνει ότι η παρουσία βορικού οξέος αμβλύνει τα συμπτώματα της καταπόνησης λόγω αλατότητας. Οι μεταχειρίσεις με διάλυμα NaCl καθώς και διάλυμα NaCl+H₃BO₃ με συχνότητα 2 φ/εβδ. (SpSb και SpSBb) σημείωσαν τις χαμηλότερες τιμές της ταχύτητας διαπνοής συγκριτικά με τους μάρτυρες και τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.



Σχήμα 28 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb) στη στοματική αγωγιμότητα (g_s) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis*, 2 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H_2O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+ H_3BO_3 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+ H_3BO_3 2φ/εβδ. $n=5 \pm SE$.

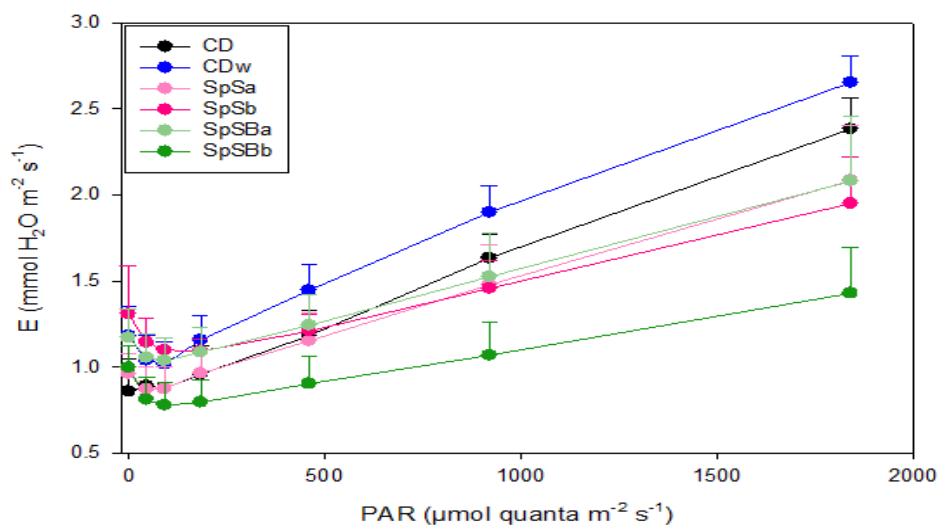
Στο διάγραμμα του σχήματος 28, παρατηρείται ότι οι υψηλότερες τιμές της παραμέτρου g_s σημειώθηκαν για τις μεταχειρίσεις των μαρτύρων και του διαλύματος NaCl+ H_3BO_3 για τις δύο συχνότητες εφαρμογής (SpSBa και SpSBb). Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στην επέμβαση μόνο με NaCl σε φυτά που δέχονταν ψεκασμό δύο φορές την εβδομάδα (SpSb). Από αυτό προκύπτει πως η καταπόνηση λόγω αλατότητας στα φυτά αυτής της μεταχείρισης είχε σημαντική επίδραση στα φυτά.

Σεπτέμβριος (3^η μέτρηση)



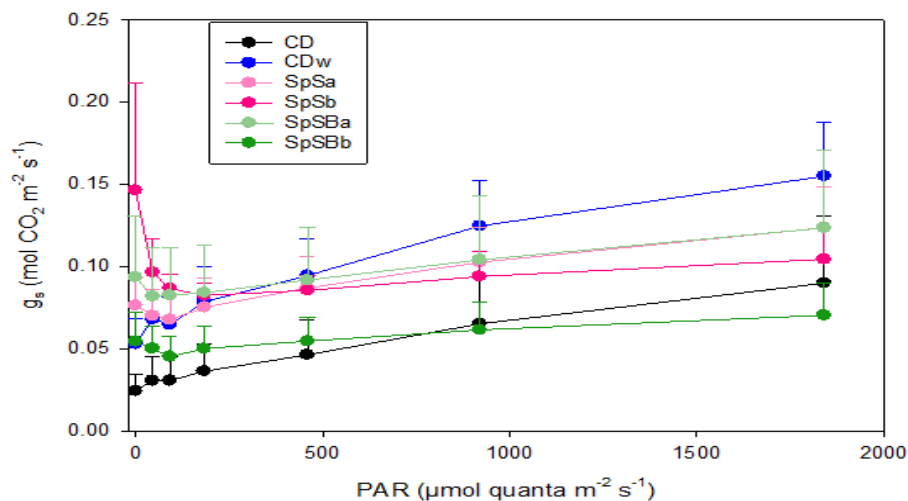
Σχήμα 29 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb) στη φωτοσυνθετική ταχύτητα (A) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis*, 4 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+H₃BO₃ 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+H₃BO₃ 2φ/εβδ. n=5±SE.

Στο διάγραμμα του σχήματος 29 παρατηρείται ότι οι υψηλότερες τιμές της παραμέτρου A σημειώθηκαν στους μάρτυρες (CD και CDw) ενώ οι χαμηλότερες τιμές στις μεταχειρίσεις με διάλυμα NaCl και διάλυμα NaCl+H₃BO₃ σε συχνότητα δύο φορές την εβδομάδα (SpSb και SpSBb) υποδεικνύοντας την καταπόνηση των φυτών λόγω αλατότητας. Η παρουσία βορικού οξέος στο διάλυμα ενδεχομένως δημιουργεί τοξικότητα λόγω έντονης συσσώρευσης του στοιχείου στα φύλλα των φυτών στο τέλος του πειράματος.



Σχήμα 30 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb) στην ταχύτητα διαπνοής (E) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis*, 4 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+H₃BO₃ 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+H₃BO₃ 2φ/εβδ. n=5±SE.

Η επίδραση της αλατότητας στην ταχύτητα διαπνοής των φυτών ήταν μεγαλύτερη στη μεταχείριση με διάλυμα NaCl+H₃BO₃ (SpSBb), αφού σημειώθηκαν οι χαμηλότερες τιμές της παραμέτρου συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, πιθανώς λόγω συνδυασμού NaCl και τοξικών επιπέδων του H₃BO₃. Οι υπόλοιπες μεταχειρίσεις έδειξαν ενδιάμεσες τιμές (σχήμα 30).



Σχήμα 31 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb) στη στοματική αγωγιμότητα (g_s) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Salvia officinalis*, 4 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H_2O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+ H_3BO_3 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+ H_3BO_3 2φ/εβδ. $n=5\pm SE$.

Στο διάγραμμα του σχήματος 31, παρατηρείται μείωση της παραμέτρου g_s των φυτών για τις μεταχειρίσεις με τη μεγαλύτερη συχνότητα εφαρμογής (2 φ/εβδ.), συγκριτικά με το μάρτυρα CDw και τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, πιθανώς λόγω αλατότητας. Παραδόξως, ο μάρτυρας CD (χωρίς ψεκασμό) έδωσε επίσης πολύ χαμηλές τιμές της g_s , ενδεχομένως λόγω δυσμενούς επίδρασης των υψηλών θερμοκρασιών του καλοκαιριού σε συνδυασμό με μέτρια έλλειψη νερού λόγω της δυσμενούς περιόδου (σε σύγκριση με τον μάρτυρα CDw στον οποίο γινόταν ψεκασμός με νερό 2φ/εβδ.).

Όπως αναμένεται, σε συνθήκες έντονης καταπόνησης λόγω αλατότητας, τα φύλλα των φυτών *Salvia officinalis* παρουσιάζουν χαμηλότερη φωτοσυνθετική ταχύτητα (A), διαπνοή (E) και στοματική αγωγιμότητα (g_s) έναντι αυτών με τη μικρότερη περιεκτικότητα αλάτων.

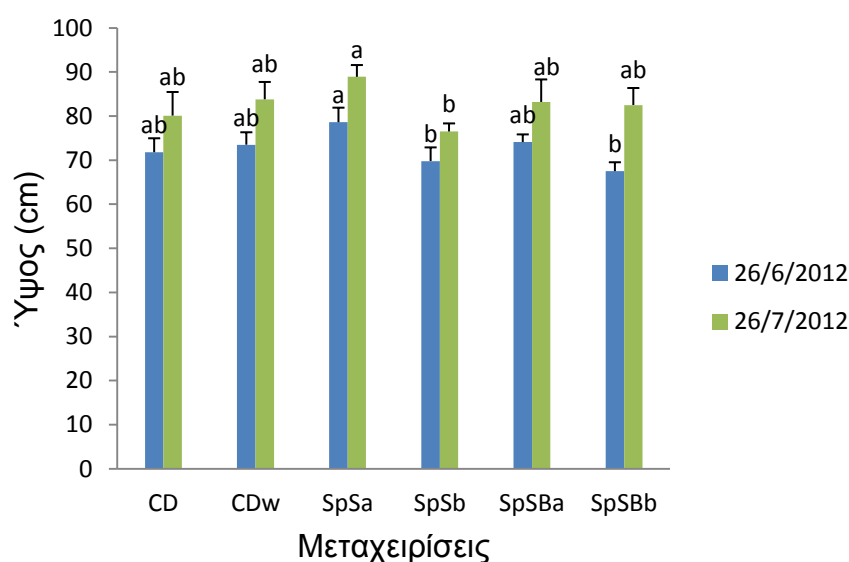
2. *Nerium oleander* (Πικροδάφνη)

Οι μετρήσεις όλων των παραμέτρων της απόκρισης των φυτών στον ψεκασμό με υδροσταγονίδια άλατος, πραγματοποιήθηκαν μια χρονική περίοδο. Δεδομένου ότι δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων στις διάφορες μεταχειρίσεις, οι μετρήσεις δεν επαναλήφθηκαν στο τέλος του πειράματος.

2.1. Βιομετρικά χαρακτηριστικά - Μορφολογικές παράμετροι

Οι μορφολογικές παράμετροι οι οποίες υπολογίστηκαν και αξιολογήθηκαν είναι:

2.1.1. Μεταβολή ύψους

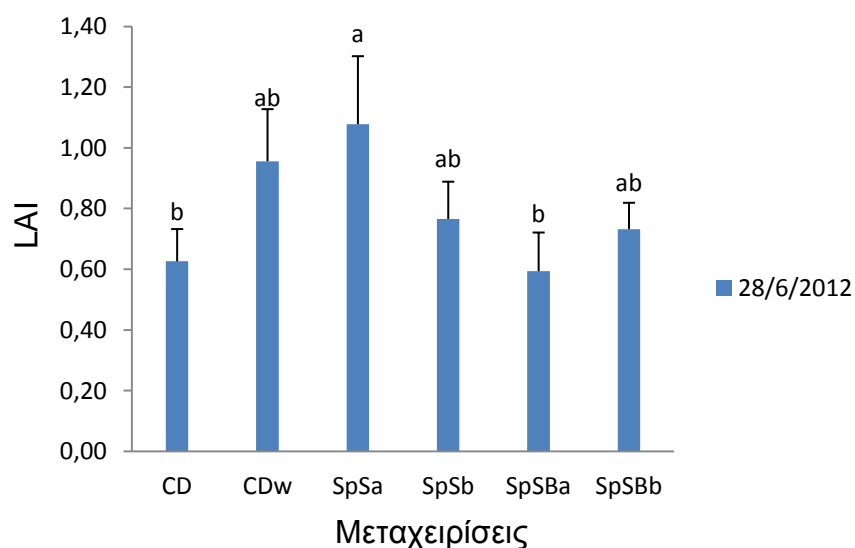


Σχήμα 32 Μεταβολή ύψους στο χρόνο της *Nerium oleander* σε διαφορετικές μεταχειρίσεις διαλυμάτων αλατότητας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+H₃BO₃ 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+H₃BO₃ 2φ/εβδ. n=5±SE. Μέσοι που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (P<0,05), η σύγκριση των μέσων των μεταχειρίσεων αφορά στην κάθε χρονική περίοδο μέτρησης.

Παρατηρώντας την υψομετρική διαβάθμιση των φυτών *Nerium oleander* αθροιστικά (σχήμα 32), από την έναρξη του πειράματος, φαίνεται η μεταχείριση SpSb να έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών σε σύγκριση με

τους μάρτυρες και τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, χωρίς να υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Τα φυτά που δέχθηκαν διάλυμα NaCl 1φ./εβδ. (μεταχείριση SpSa) διατήρησαν το μεγαλύτερο ύψος μέχρι το τέλος του πειράματος, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, ενώ φυτά που δέχθηκαν την εφαρμογή διαλύματος χλωριούχου νατρίου 2φ./εβδ.(SpSb) εμφάνισαν το μικρότερο ύψος σε όλη τη διάρκεια του πειράματος. Η παρουσία του βορικού οξέος στο διάλυμα εφαρμογής δε φαίνεται να είχε καμία έντονη επίδραση στο ύψος των φυτών, με εξαίρεση αυτά της μεταχείρισης SpSBb για την περίοδο του Ιουνίου. Τα αποτελέσματα του ύψους για τις μεταχειρίσεις SpSBa και SpSBb κυμάνθηκαν στα ίδια επίπεδα με τους μάρτυρες και στις δύο περιόδους μέτρησης.

2.1.2. Μέτρηση δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index, LAI)



Σχήμα 33 Επίδραση της αλατότητας στο LAI σε φυτά *Nerium oleander* ανά μεταχείριση. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+H₃BO₃ 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+H₃BO₃ 2φ/εβδ. n=5±SE. Μέσοι που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (P<0,05), η σύγκριση των μέσων των μεταχειρίσεων αφορά στην κάθε χρονική περίοδο μέτρησης.

Ως προς τις τιμές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) των φυτών *Nerium oleander* (σχήμα 33), οι μικρότερες τιμές παρατηρήθηκαν στις μεταχειρίσεις SpSb και SpSBa χωρίς σημαντική διαφοροποίηση με αυτές των άλλων μεταχειρίσεων.

Αντίθετα, φυτά που δέχθηκαν ψεκάσμο με NaCl 1φ./εβδ. (μεταχείριση SpSa) εμφάνισαν σημαντική διαφορά τιμών LAI σε σχέση με τα φυτά των μεταχειρίσεων CD και SpSBa. Ο μάρτυρας CD (χωρίς ψεκάσμο) έδωσε επίσης πολύ χαμηλές τιμές του LAI, ενδεχομένως λόγω δυσμενούς επίδρασης των υψηλών θερμοκρασιών του καλοκαιριού σε συνδυασμό με την πιθανή έλλειψη νερού λόγω της δυσμενούς περιόδου (σε σύγκριση με τον μάρτυρα CDw).

2.1.3. Μέτρηση πάχους φύλλου (LT)

Πίνακας 4 Πάχος φύλλου (μm) φυτών *Nerium oleander* ανά μεταχείριση. $n=5\pm SE$. Μέσοι που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ($P<0,05$), η σύγκριση των μέσων των μεταχειρίσεων αφορά στην κάθε χρονική περίοδο μέτρησης.

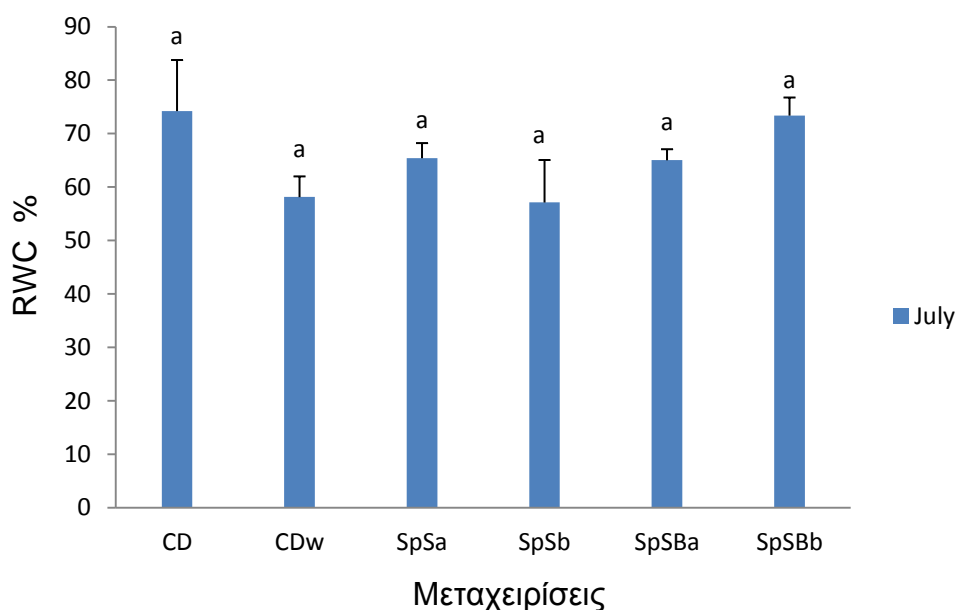
	Ιούλιος
CD	0,362 a
CDw	0,417 a
SpSa	0,361 a
SpSb	0,319 a
SpSBa	0,384 a
SpSBb	0,427 a

Σύμφωνα με τον πίνακα 4, από τις μετρήσεις του πάχους των φύλλων της *Nerium oleander*, δεν παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση των μέσων μεταξύ των μεταχειρίσεων.

2.1.4. Μέτρηση σχετικής περιεκτικότητας σε νερό του φύλλου (RWC)

Στο παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 34) παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της σχετικής περιεκτικότητας σε νερό (RWC) των φύλλων της *Nerium oleander* σε συνθήκες καταπόνησης λόγω αλατότητας. Είναι εμφανές ότι τα φύλλα δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις τιμές της RWC σε σχέση με τους μάρτυρες και συγκριτικά μεταξύ τους, ενώ υποδεικνύουν το βαθμό εγκλιματισμού των φυτών στα διαφορετικά επίπεδα αλατότητας.

Πριν την έναρξη των εφαρμογών, ο μέσος όρος των μετρήσεων της RWC για πέντε δείγματα του φυτού *Nerium oleander* ήταν 78,22%.



Σχήμα 34 Επίδραση της αλατότητας στην RWC σε φυτά *Nerium oleander* ανά μεταχείριση. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H_2O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+ H_3BO_3 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+ H_3BO_3 2φ/εβδ. $n=5\pm SE$. Μέσοι που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ($P<0,05$), η σύγκριση των μέσων των μεταχειρίσεων αφορά στην κάθε χρονική περίοδο μέτρησης.

2.2. Αξιολόγηση φυσιολογικών δεικτών ανάπτυξης φυτών

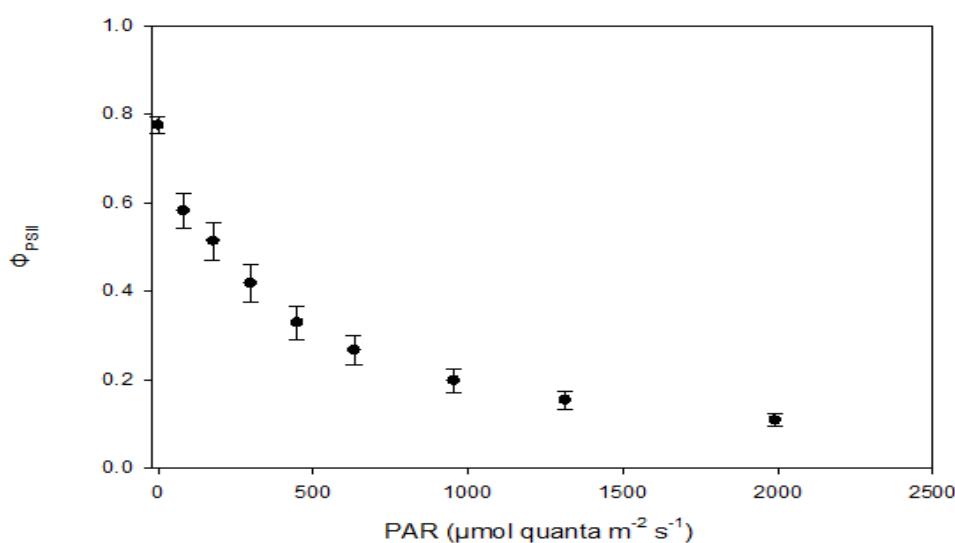
Η εκτίμηση της φυσιολογικής κατάστασης των φυτών έγινε στη βάση των μετρήσεων που αφορούσαν στη λειτουργική φωτονιακή απόδοση (Φ) της φωτοχημείας του φωτοσυστήματος II (Φ_{PSII}), το φαινόμενο ρυθμό ροής ηλεκτρονίων (ETR), τον συντελεστή φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (qP) και τους συντελεστές μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (qN και NPQ). Σε κάθε περίοδο μέτρησης αρχικά μετρήθηκε η θεμελιώδης φωτονιακή απόδοση της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSII_0}).

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα των φωτοχημικών παραμέτρων (Φ_{PSII} , ETR, qP, qN, NPQ και Φ_{PSII_0}) σε όλες τις μεταχειρίσεις και τους μάρτυρες, αναλυτικά για κάθε περίοδο μέτρησης.

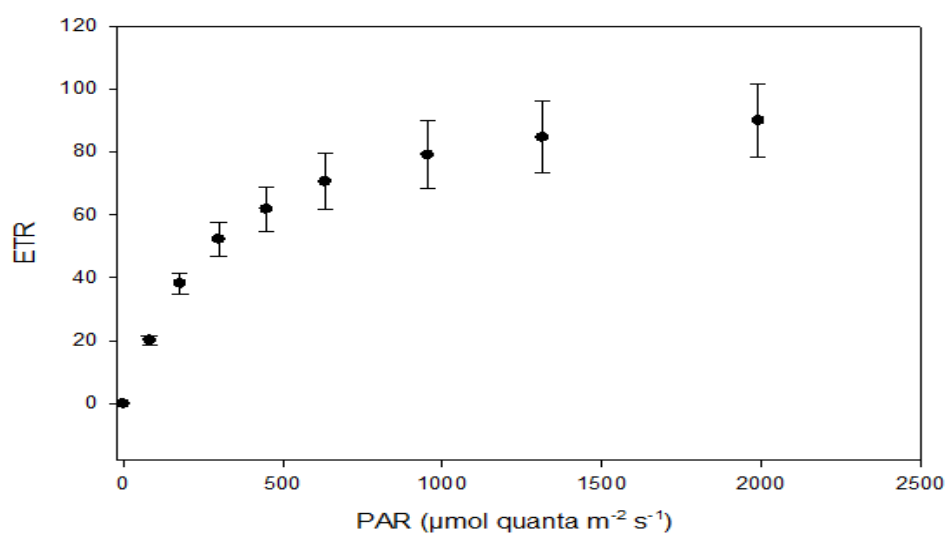
Αρχικές μετρήσεις : Μάιος (1^η μέτρηση)

Πριν την έναρξη των εφαρμογών, σε εγκατεστημένα φυτά *Nerium oleander* έγιναν μετρήσεις των φυσιολογικών παραμέτρων που παρουσιάζονται στη συνέχεια.

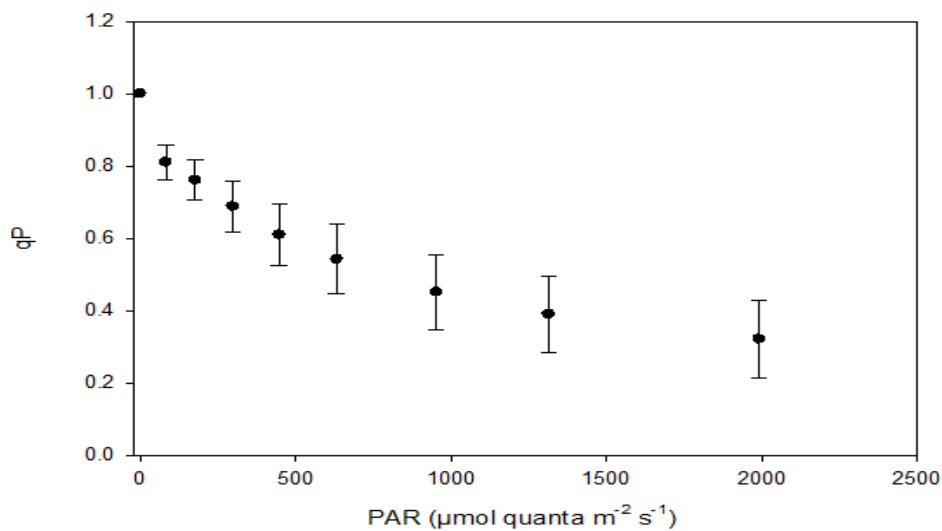
Θεμελιώδης φωτονιακή απόδοση της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSII}): Η τιμή διαμορφώθηκε από μετρήσεις που έγιναν σε πέντε φυτά (επαναλήψεις) και σημείωσε την τιμή $0,77 \pm 0,042$



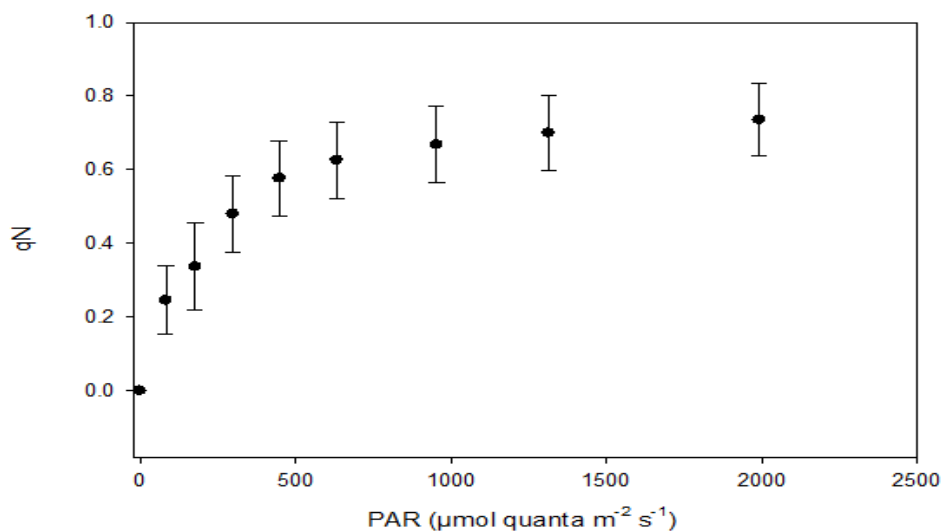
Σχήμα 35 Συσχέτιση μεταξύ της λειτουργικής φωτονιακής απόδοσης της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSII}) και της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Nerium oleander* σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας $n=5 \pm SE$.



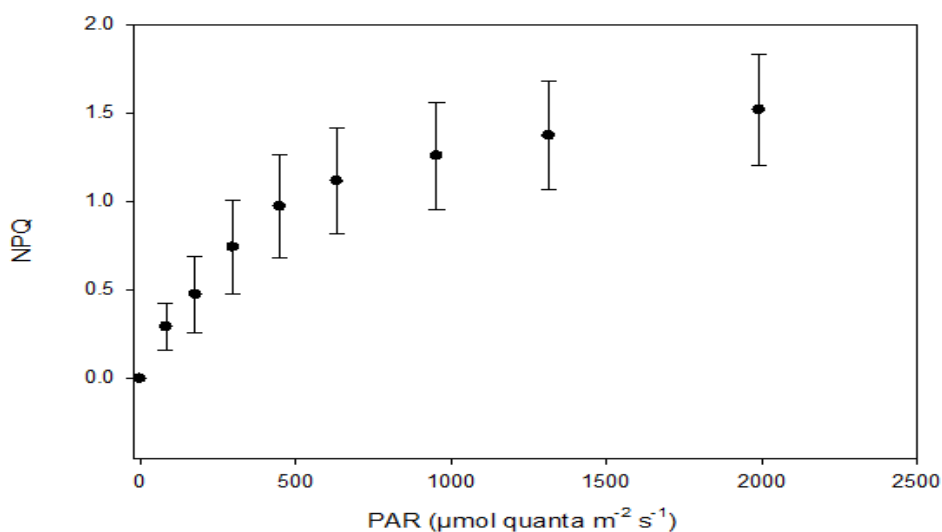
Σχήμα 36 Συσχέτιση μεταξύ του φαινόμενου ρυθμού ροής ηλεκτρονίων (ETR) και της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Nerium oleander* σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας $n=5 \pm SE$.



Σχήμα 37 Συσχέτιση μεταξύ του συντελεστή φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (qP) και της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Nerium oleander* σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας $n=5\pm SE$.



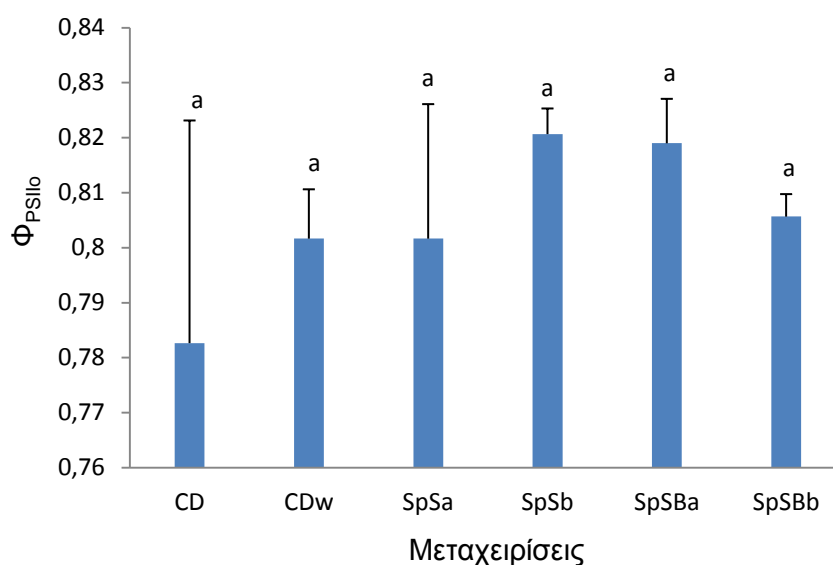
Σχήμα 38 Συσχέτιση μεταξύ του συντελεστή μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (qN) και της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Nerium oleander* σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. $n=5\pm SE$.



Σχήμα 39 Συσχέτιση μεταξύ του συντελεστή μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (NPQ) και της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Nerium oleander* σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας $n=5 \pm SE$.

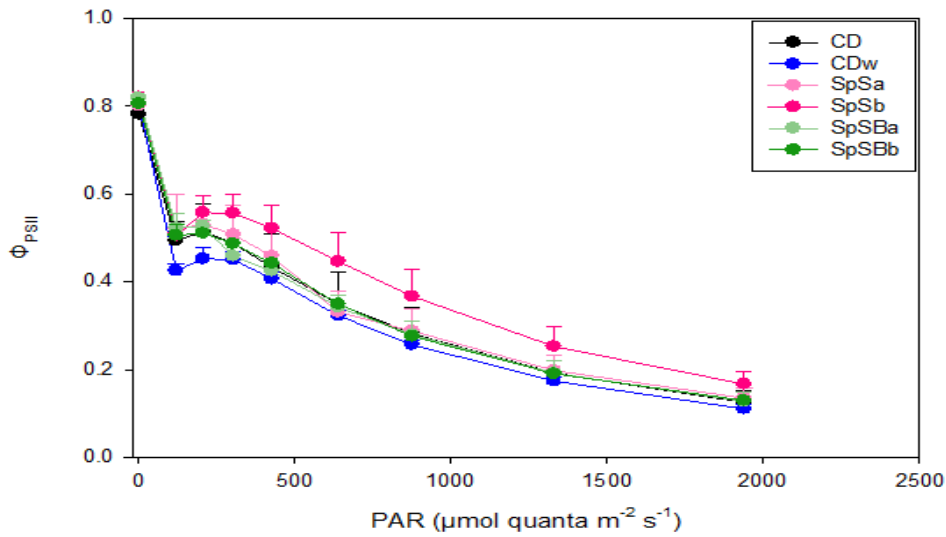
Σε γενικές γραμμές, οι καμπύλες φωτός των φωτοχημικών παραμέτρων (σχήματα 35-39) είναι φυσιολογικές και υποδηλώνουν υγιή φυτά σε καλή φυσιολογική κατάσταση κατά την εγκατάστασή τους. Υπό σταθερές συνθήκες φωτισμού, η λειτουργική φωτοχημική απόδοση της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSII}) ακολουθεί μια κανονική καμπύλη απόκρισης στην αύξηση της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι τιμές του φαινόμενου ρυθμού ροής ηλεκτρονίων (ETR) της φωτοχημικής αλυσίδας είναι φυσιολογικές εκφράζοντας ικανοποιητικό ρυθμό διενέργειας των φωτοχημικών αντιδράσεων. Οι τιμές του συντελεστή φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (qP) είναι υψηλές υποδηλώνοντας τη μεγάλη χωρητικότητα της φωτοχημικής αλυσίδας. Ο συντελεστής qN, ο οποίος περιλαμβάνει όλες τις διεργασίες μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII, παρουσιάζει φυσιολογικές τιμές και ο συντελεστής μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού μέσω θερμικών απωλειών (NPQ) αποδίδει επίσης μια φυσιολογική καμπύλη απόκρισης της παραμέτρου με την αύξηση της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Αύγουστος (2^η μέτρηση)



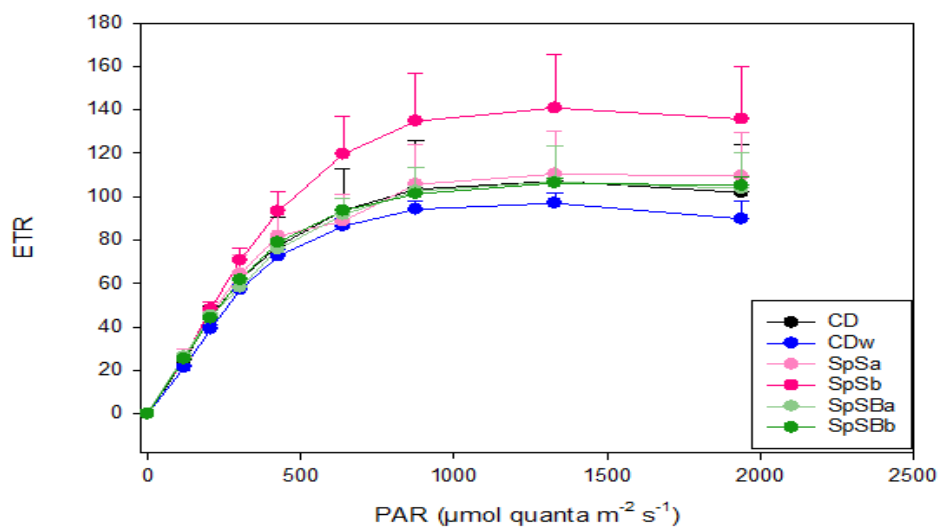
Σχήμα 40 Τιμές θεμελιώδους φωτονιακής απόδοσης της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSII0}) για τα φυτά *Nerium oleander* των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb), 3 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H_2O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+ H_3BO_3 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+ H_3BO_3 2φ/εβδ. $n=5\pm SE$. Μέσοι που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ($P<0,05$).

Στο παραπάνω σχήμα παρατηρείται ότι οι τιμές της παραμέτρου Φ_{PSII0} για τις μεταχειρίσεις ήταν μεγαλύτερες συγκριτικά με τα φυτά μάρτυρες. Ωστόσο οι τιμές της Φ_{PSII0} ήταν σε όλες τις μεταχειρίσεις σε σχετικά υψηλά επίπεδα υποδηλώνοντας την απουσία σοβαρών βλαβών στα φυτά, ενώ δεν παρατηρείται καμία σημαντική επίδραση της αλατότητας στη θεμελιώδη φωτονιακή απόδοση της φωτοχημείας του PSII.



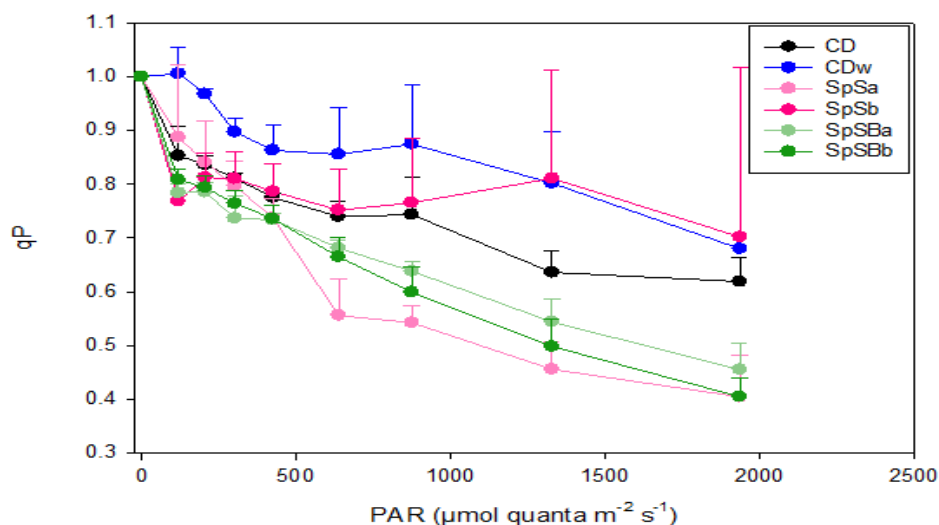
Σχήμα 41 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb) στη λειτουργική φωτονιακή απόδοση της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSII}) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Nerium oleander*, 3 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H_2O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+ H_3BO_3 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+ H_3BO_3 2φ/εβδ. $n=5 \pm SE$.

Στο διάγραμμα του σχήματος 41 φαίνεται να μην παρατηρείται καμία επίδραση της αλατότητας στη λειτουργική φωτονιακή απόδοση της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSII}) μεταξύ των μεταχειρίσεων (SpSa, SpSBa, SpSBb) παρά μόνο ταύτιση στις τιμές της παραμέτρου για όλες τις εντάσεις PAR μεταξύ αυτών και των CD και CDw. Αύξηση στις τιμές της Φ_{PSII} παρατηρείται για τη μεταχείριση στην οποία συμμετέχει μόνο το NaCl σε συχνότητα εφαρμογής 2φ./εβδ. (SpSb) χωρίς να επηρεάζει τη μακροσκοπική εικόνα των φυτών.

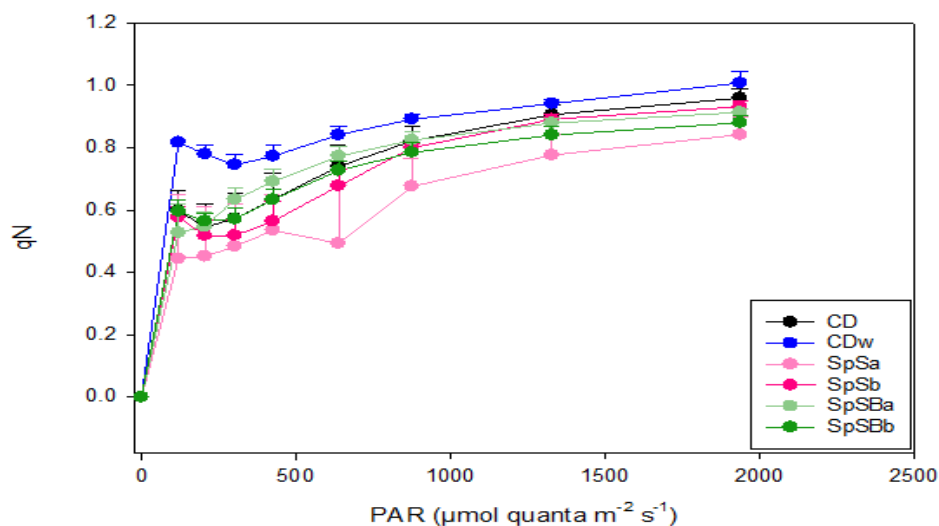


Σχήμα 42 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb) στο φαινόμενο ρυθμό ροής ηλεκτρονίων (ETR) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Nerium oleander*, 3 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+H₃BO₃ 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+H₃BO₃ 2φ/εβδ. n=5±SE.

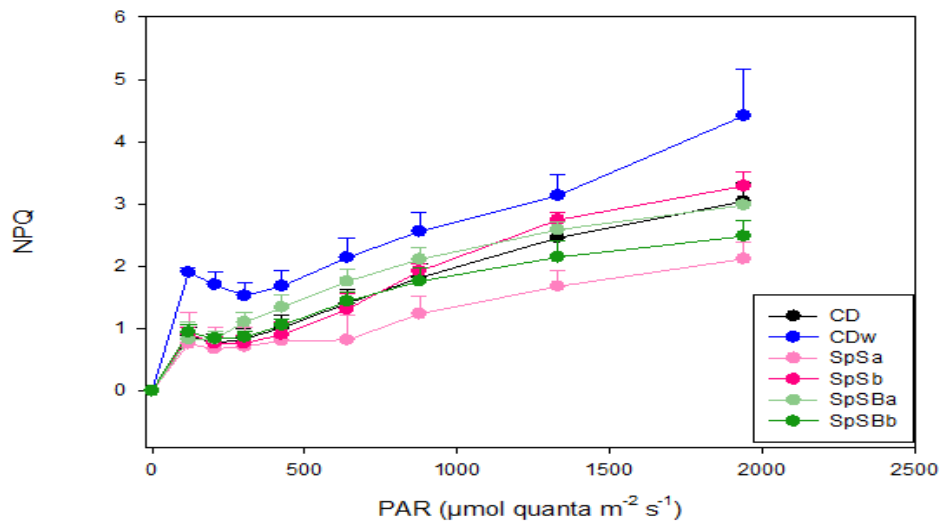
Σύμφωνα με το διάγραμμα του σχήματος 42, τα φυτά που δέχθηκαν επέμβαση με NaCl δύο φορές την εβδομάδα (μεταχείριση SpSb) έδειξαν σημαντικά υψηλότερες τιμές του ρυθμού ροής ηλεκτρονίων (ETR) συγκριτικά με τα φυτά των υπόλοιπων μεταχειρίσεων και τους μάρτυρες, στα οποία υπάρχει ταύτιση των τιμών της παραμέτρου.



Σχήμα 43 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (*CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb*) στο συντελεστή φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του *PSII* (*qP*) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Nerium oleander*, 3 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. *CD*: μάρτυρας *CDw*: μάρτυρας με ψεκασμό H_2O 2φ/εβδ. *SpSa*: $NaCl$ 1φ/εβδ. *SpSb*: $NaCl$ 2φ/εβδ. *SpSBa*: $NaCl+H_3BO_3$ 1φ/εβδ. *SpSBb*: $NaCl+H_3BO_3$ 2φ/εβδ. $n=5\pm SE$.



Σχήμα 44 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (*CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb*) στο συντελεστή μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του *PSII* (*qN*) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Nerium oleander*, 3 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. *CD*: μάρτυρας *CDw*: μάρτυρας με ψεκασμό H_2O 2φ/εβδ. *SpSa*: $NaCl$ 1φ/εβδ. *SpSb*: $NaCl$ 2φ/εβδ. *SpSBa*: $NaCl+H_3BO_3$ 1φ/εβδ. *SpSBb*: $NaCl+H_3BO_3$ 2φ/εβδ. $n=5\pm SE$.



Σχήμα 45 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb) στο συντελεστή μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (NPQ) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Nerium oleander*, 3 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+H₃BO₃ 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+H₃BO₃ 2φ/εβδ. n=5±SE.

Σύμφωνα με το διάγραμμα του σχήματος 45 ο συντελεστής μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (NPQ) δεν έδειξε σαφείς διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων και φαίνεται να μην υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ τους, αφού η πορεία που ακολούθησαν είναι παραπλήσια. Δείγματα τα οποία δέχθηκαν το διάλυμα NaCl μία φορά την εβδομάδα (SpSa) εμφάνισαν τις χαμηλότερες τιμές του εν λόγω συντελεστή. Από την άλλη πλευρά, ο μάρτυρας με ψεκασμό νερού έδωσε τις υψηλότερες τιμές του NPQ με μέγιστη αυτή στη μεγαλύτερη ένταση.

2.3. Φωτοσυνθετικές παράμετροι

Οι φωτοσυνθετικές παράμετροι οι οποίες μετρήθηκαν είναι:

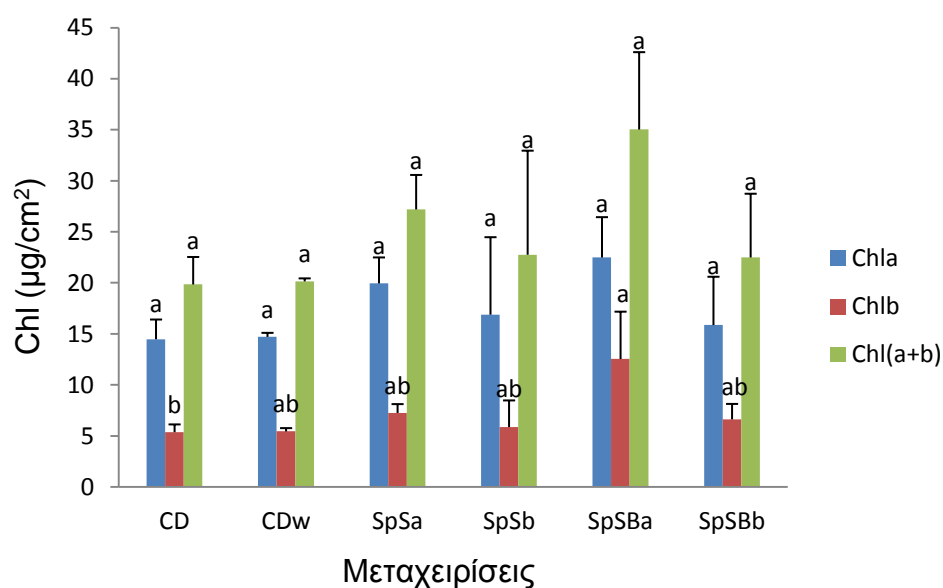
- η συγκέντρωση των χλωροφυλλών (Chla, Chlb και Chl_(a+b))
- η φωτοσυνθετική ταχύτητα (A)
- η διαπνοή (E)
- η στοματική αγωγιμότητα (g_s)

2.3.1. Συγκέντρωση χλωροφυλλών

Αρχικές μετρήσεις : Μάιος (1^η μέτρηση)

Πριν την έναρξη των εφαρμογών, σε εγκατεστημένα φυτά *Nerium oleander* ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των χλωροφυλλών σε πέντε φυτά (επαναλήψεις) ήταν $16,3 \pm 4,43 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ για τη Chla, $6 \pm 1,82 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ για τη Chlb και συνολικά $22,3 \pm 6,16 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ Chl(a+b). Οι τιμές της συγκέντρωσης των χλωροφυλλών για την περίοδο μέτρησης του Αυγούστου παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Αύγουστος (2^η μέτρηση)



Σχήμα 46 Επίδραση της αλατότητας στη συγκέντρωση των χλωροφυλλών *a*, *b* και ολική, ανά μεταχείριση, σε φυτά *Nerium oleander*, 3 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+H₃BO₃ 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+H₃BO₃ 2φ/εβδ. n=5±SE. Μέσοι που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (P<0,05), η σύγκριση των μέσων των μεταχειρίσεων αφορά στην κάθε χρονική περίοδο μέτρησης.

Η συνολική συγκέντρωση χλωροφυλλών ανά επιφάνεια φύλλου δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών χειρισμών (σχήμα 46). Γενικώς, παρατηρείται αύξηση της συνολικής συγκέντρωσης χλωροφυλλών ανά επιφάνεια φύλλου σε όλες τις μεταχειρίσεις συγκριτικά με τους μάρτυρες. Φυτά τα οποία δέχθηκαν την επίδραση διαλύματος NaCl παρουσία βορικού οξέος μια φορά την εβδομάδα (μεταχείριση SpSBa) εμφάνισαν τη μεγαλύτερη συνολική συγκέντρωση χλωροφυλλών ανά επιφάνεια φύλλου. Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα πως η αλατότητα δεν είχε σημαντική επίδραση στη συγκέντρωση των χλωροφυλλών στα φυτά *Nerium oleander*.

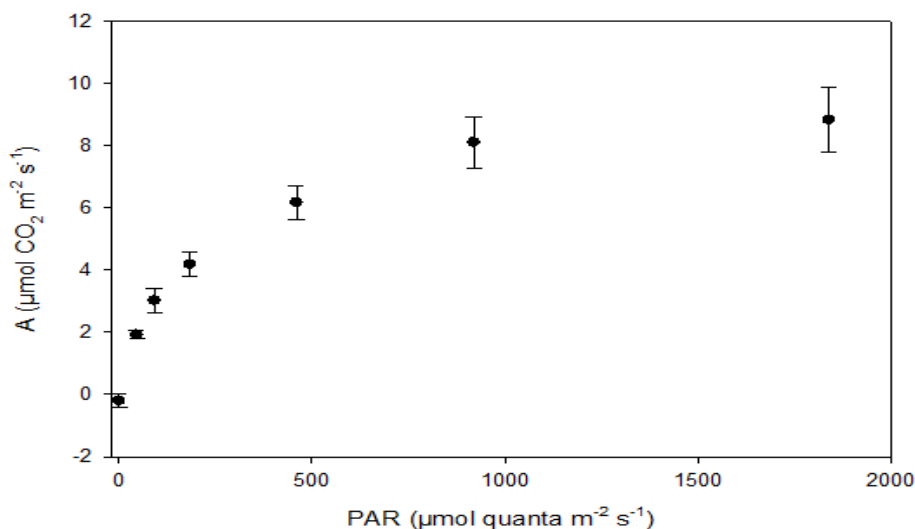
2.3.2. Μετρήσεις παραμέτρων φωτοσύνθεσης

Η εκτίμηση της φωτοσύνθεσης των φυτών έγινε στη βάση των μετρήσεων που αφορούσαν τη φωτοσυνθετική ταχύτητα (A), τη διαπνοή (E) και τη στοματική αγωγιμότητα (g_s).

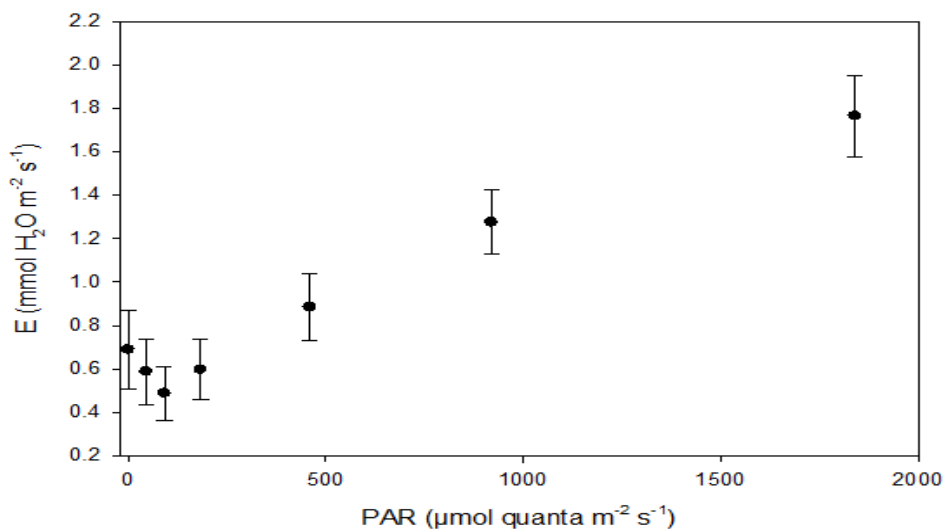
Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της κάθε φωτοσυνθετικής παραμέτρου χωριστά, όπως καταγράφηκαν σε κάθε μεταχείριση, πριν την έναρξη των εφαρμογών και τη χρονική περίοδο μέτρησης, του Αυγούστου (δυσμενής περίοδος).

Αρχικές μετρήσεις : Μάιος (1^η μέτρηση)

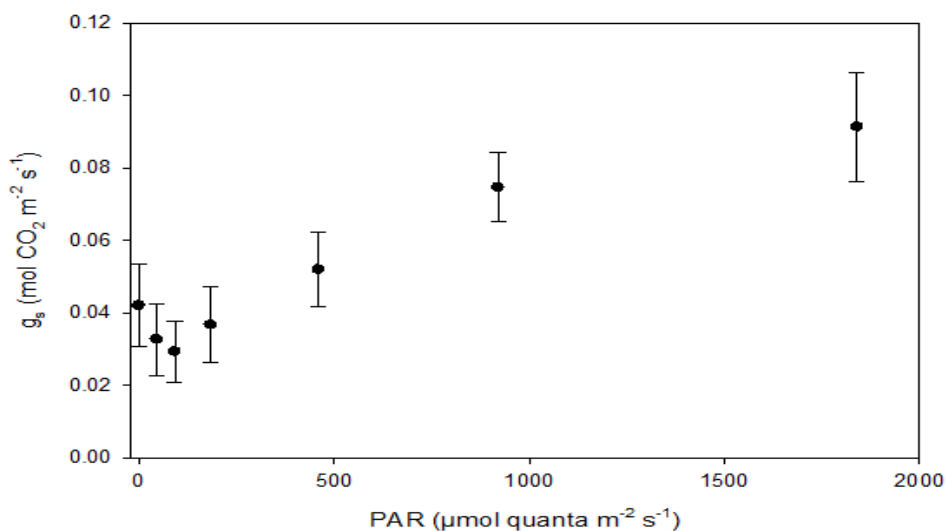
Πριν την έναρξη των εφαρμογών, σε εγκατεστημένα φυτά *Nerium oleander*, έγιναν μετρήσεις των παραμέτρων της φωτοσύνθεσης που παρουσιάζονται στη συνέχεια.



Σχήμα 47 Συσχέτιση μεταξύ της φωτοσυνθετικής ταχύτητας (A) και της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Nerium oleander*, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας $n=5 \pm SE$.



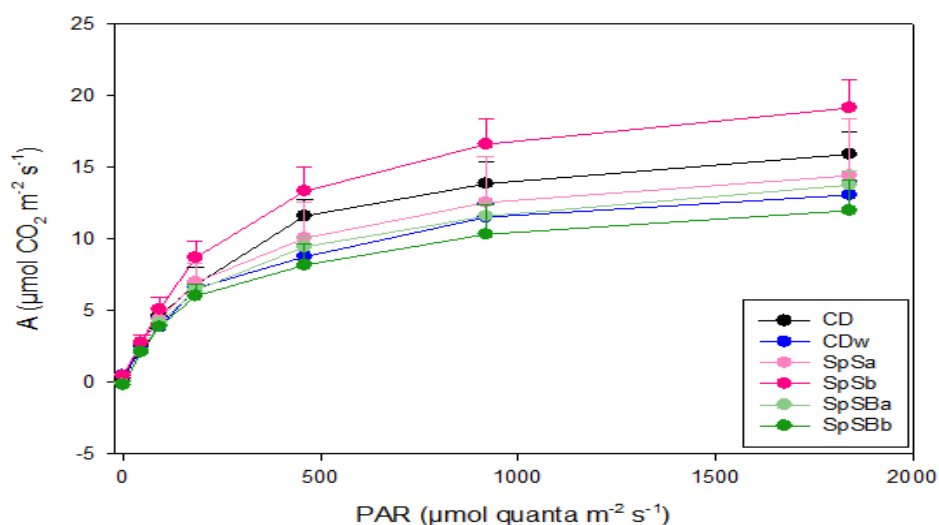
Σχήμα 48 Συσχέτιση μεταξύ της ταχύτητας διαπνοής (E) και της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Nerium oleander*, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας $n=5 \pm SE$.



Σχήμα 49 Συσχέτιση μεταξύ της στοματική αγωγιμότητα (g_s) και της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Nerium oleander*, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας $n=5 \pm SE$.

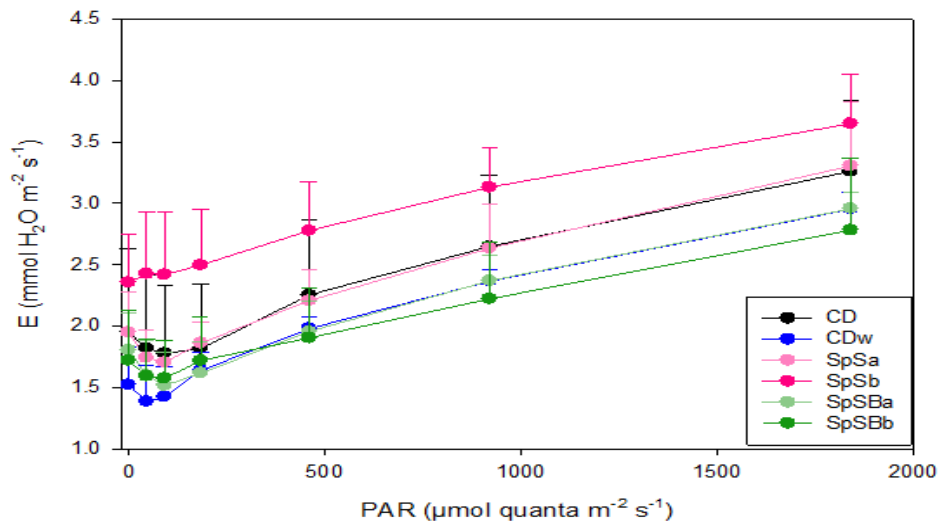
Σε γενικές γραμμές, οι καμπύλες των φυσιολογικών παραμέτρων (σχήματα 47-49) είναι φυσιολογικές και υποδηλώνουν υγιή φυτά τη στιγμή της πρώτης εγκατάστασης.

Αύγουστος (2^η μέτρηση)



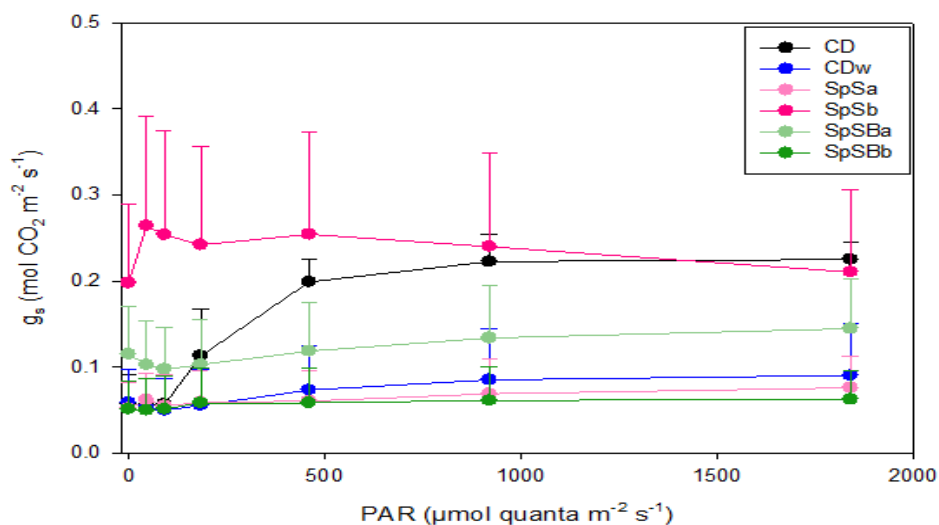
Σχήμα 50 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb) στη φωτοσυνθετική ταχύτητα (A) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Nerium oleander*, 3 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+H₃BO₃ 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+H₃BO₃ 2φ/εβδ. n=5±SE.

Στο διάγραμμα του σχήματος 50 παρατηρείται αύξηση των τιμών της φωτοσυνθετικής ταχύτητας (A) σε όλες τις μεταχειρίσεις καταλήγοντας στην άποψη πως η φωτοσυνθετική ικανότητα βρίσκεται σε κανονική λειτουργία. Η μεταχείριση με διάλυμα NaCl με τη μεγαλύτερη συχνότητα (SpSb) σημειώνει τις υψηλότερες τιμές της παραμέτρου υποδεικνύοντας πως η παρουσία αλάτων δεν επηρεάζει τη φωτοσυνθετική ταχύτητα των φυτών. Οι υπόλοιποι χειρισμοί δεν παρουσίασαν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ τους όσο και συγκριτικά με τους δύο τύπους μάρτυρα (CD και CDw).



Σχήμα 51 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb) στην ταχύτητα διαπνοής (E) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Nerium oleander*, 3 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H_2O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+ H_3BO_3 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+ H_3BO_3 2φ/εβδ. $n=5\pm SE$.

Σύμφωνα με το σχήμα 51, οι υψηλότερες τιμές της διαπνοής των φυτών *Nerium oleander*, σε όλες τις εντάσεις της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, παρατηρούνται στα φυτά που δέχθηκαν διάλυμα NaCl με συχνότητα 2 φ/εβδ. (SpSb) και ωστόσο προκύπτει πως η αλατότητα δεν άσκησε αρνητική επίδραση στα φυτά αυτής της μεταχείρισης. Η μεταχείριση με διάλυμα NaCl+ H_3BO_3 με συχνότητα 2 φ/εβδ. (SpSBb) σημείωσε τις χαμηλότερες τιμές της διαπνοής ενώ οι αντίστοιχες μεταχειρίσεις που έγιναν 1 φ/εβδ. ακολούθησαν ενδιάμεση πορεία τιμών της παραμέτρου E , παραπλήσια των δύο τύπων μάρτυρα (CD και CDw).



Σχήμα 52 Επίδραση των δύο τύπων μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης (CD, CDw, SpSa, SpSb, SpSBa, SpSBb) στη στοματική αγωγιμότητα (g_s) συναρτήσει της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε φυτά *Nerium oleander*, 3 μήνες μετά τη μεταφύτευση, σε υπαίθριες συνθήκες καλλιέργειας. CD: μάρτυρας CDw: μάρτυρας με ψεκασμό H_2O 2φ/εβδ. SpSa: NaCl 1φ/εβδ. SpSb: NaCl 2φ/εβδ. SpSBa: NaCl+ H_3BO_3 1φ/εβδ. SpSBb: NaCl+ H_3BO_3 2φ/εβδ. $n=5\pm SE$.

Στο διάγραμμα του σχήματος 52, οι υψηλότερες τιμές της στοματικής αγωγιμότητας (g_s) σημειώθηκαν για τη μεταχείριση με διάλυμα NaCl με συχνότητα εφαρμογής 2 φ/εβδ. (SpSb). Αξίζει να σημειωθεί πως καθώς οι εντάσεις της προσπίπτουσας ακτινοβολίας αυξάνονται οι τιμές της παραμέτρου g_s για την ίδια μεταχείριση σημειώνουν καθοδική τάση. Από αυτό προκύπτει πως η καταπόνηση λόγω αλατότητας σε αυτά τα δείγματα δεν είχε αρνητική επίδραση. Οι χαμηλές τιμές της παραμέτρου g_s για τα φυτά που δέχθηκαν τη μεταχείριση SpSBb μπορεί να οφείλονται στο συνδυασμό NaCl και τοξικών επιπέδων του H_3BO_3 . Παραδόξως, ο μάρτυρας CDw (με ψεκασμό H_2O 2φ/εβδ.) έδωσε επίσης πολύ χαμηλές τιμές της g_s , ενδεχομένως λόγω δυσμενούς επίδρασης των υψηλών θερμοκρασιών του καλοκαιριού σε συνδυασμό με μέτρια έλλειψη νερού λόγω της δυσμενούς περιόδου (σε σύγκριση με τον μάρτυρα CD στον οποίο δε γινόταν ψεκασμός).

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών χειρισμών στα φυτά *Nerium oleander* και συνεπώς καμία σημαντική επίδραση της αλατότητας στα φυτά αυτού του είδους.

Δ. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα μορφολογικών, φυσιολογικών και φωτοσυνθετικών παραμέτρων διαπιστώθηκε η διαφορετική συμπεριφορά κάθε είδους κάτω από συνθήκες αλατότητας.

Η επιβίωση και η παραγωγικότητα των φυτών εξαρτάται άμεσα από τις ευνοϊκές συνθήκες του περιβάλλοντος στο οποίο ζουν με στόχο τη διατήρηση της ομαλής λειτουργίας της φωτοσύνθεσης και της ανάπτυξής τους. Γι αυτό λοιπόν το λόγο η αλατότητα αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες αβιοτικής καταπόνησης που περιορίζουν την αντοχή των ειδών σε παραθαλάσσια περιβάλλοντα.

Η φθορισμομετρία της χλωροφύλλης *in vivo* αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο απεικόνισης της φυσιολογικής κατάστασης ενός φυτού, όσον αφορά στον τρόπο επιτέλεσης των φωτεινών αντιδράσεων της φωτοσύνθεσης. Πρόκειται για μια μη καταστροφική και ταυτόχρονα ευαίσθητη και γρήγορη τεχνική μέσω της οποίας μπορούν να μετρηθούν παράμετροι οι οποίες σχετίζονται πρωτίστως με την έκταση πιθανών βλαβών σε ένα φυτικό οργανισμό ως αποτέλεσμα της επίδρασης ενός ή περισσοτέρων παραγόντων καταπόνησης και δευτερευόντως με την παραγωγικότητά του. Μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση εξειδικευμένων, φορητών και εύκολων στη χρήση οργάνων (φθορισμόμετρα).

Στις γεωπονικές επιστήμες, η προαναφερθείσα τεχνική χρησιμοποιείται ιδιαίτερα για την εκτίμηση πιθανών βλαβών από παρατεταμένη έκθεση των φυτών σε εδαφική αλατότητα ή καταπόνηση από υδροσταγονίδια αλατότητας συχνά σε συνδυασμό με υψηλές εντάσεις ακτινοβολίας ή και ακραίες θερμοκρασίες. Επίσης, χρησιμοποιείται για την επίδραση της περίσσειας ή έλλειψης νερού, θρεπτικών στοιχείων ή ρυπαντών του περιβάλλοντος ανάπτυξης ενός φυτού δεδομένου ότι η φωτοσυνθετική συσκευή είναι ιδιαίτερα επιρρεπής στις παραπάνω καταπονήσεις. Οι Maxwell & Johnson (2000) αναφέρουν πως οι μεταβολές στις παραμέτρους F_v/F_m και F_o αποτελούν τους πιο ευρέως χρησιμοποιούμενους και αξιόπιστους δείκτες διάγνωσης της φωτοαναστολής. Η συσχέτιση ωστόσο των φωτοσυνθετικών δεικτών με τα βιομετρικά χαρακτηριστικά ανάπτυξης συμβάλλουν στην πληρέστερη εικόνα της εκτίμησης της φυσιολογικής κατάστασης του φυτού όταν αυτό αναπτύσσεται σε συνθήκες οι οποίες είναι λιγότερο ή περισσότερο περιοριστικές για την ανάπτυξή του.

Ειδικότερα για κάθε είδος που μελετήθηκε διαπιστώθηκαν τα εξής συμπεράσματα:

Salvia officinalis

Κατά την αξιολόγηση των μορφολογικών χαρακτηριστικών των φυτών *Salvia officinalis* παρατηρείται ότι φυτά που δέχθηκαν ψεκασμούς με NaCl στη μεγάλη συχνότητα (2φ./εβδ.) (μεταχείριση SpSb) εμφάνισαν τη μεγαλύτερη καταπόνηση όπως αυτό διαπιστώνεται από το σημαντικό περιορισμό του ύψους τους και του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) σε σχέση με τους μάρτυρες στο τέλος του πειράματος (σχήμα 1 και σχήμα 2). Στην ίδια μεταχείριση, φυτά που δέχθηκαν ψεκασμούς 1φ./εβδ. (μεταχείριση SpSa) είχαν μικρότερη καταπόνηση με σημαντική μείωση του δείκτη του δείκτη LAI στο τέλος του πειράματος (Σεπτέμβριος), σε σχέση με τους μάρτυρες (σχήμα 2). Η προσθήκη H_3BO_3 στο διάλυμα ψεκασμού NaCl μέσω εφαρμογής του στη μεγάλη συχνότητα (2φ./εβδ.) (μεταχείριση SpSBb) επίσης περιόρισε τη φυλλική επιφάνεια των φυτών σημαντικά σε σχέση με τους μάρτυρες (CD και CDw) στο τέλος του πειράματος, όχι όμως και το ύψος των φυτών το οποίο διατηρήθηκε μέχρι τη λήξη των εφαρμογών (10 Σεπτεμβρίου 2012) χωρίς διαφοροποίηση σε σχέση με τους μάρτυρες (σχήμα 1 και 2). Η πάχυνση που παρατηρείται (πίνακας 3), καθώς και η μείωση της σχετικής περιεκτικότητας σε νερό (RWC) των φύλλων της *Salvia officinalis*, χωρίς σημαντικές διαφοροποιήσεις, μεταξύ των επεμβάσεων στο τέλος του πειράματος (σχήμα 3) αποδίδεται στην ηλικία των φυτών. Η πάχυνση στα φυτά της μεταχείρισης SpSb πιθανώς να οφείλεται σε κάποιο βαθμό στην καταπόνηση που υπέστησαν (πίνακας 3).

Σύμφωνα με μακροσκοπικές παρατηρήσεις, την περίοδο του Ιουλίου, τα φυτά υπό την επίδραση διαλύματος NaCl (μεταχειρίσεις SpSa και SpSb) καταπονήθηκαν περισσότερο σε σχέση με τα δείγματα τα οποία δέχθηκαν την επίδραση $NaCl+H_3BO_3$ (μεταχειρίσεις SpSBa και SpSBb), με εμφανή έντονα συμπτώματα συστροφής των φύλλων, εγκουμάτων, περιφερειακής ξήρανσης και τελικώς φυλλόπτωσης (παράρτημα I, εικόνες 7-10). Συγκεκριμένα, μετά την πάροδο 7 ημερών από την έναρξη των εφαρμογών (29 Ιουνίου 2012), στα δείγματα που ψεκάστηκαν με διάλυμα NaCl 2φ./εβδ. παρατηρήθηκαν αρχικά έντονες συστροφές και ξήρανση περιμετρικά των φύλλων, ενώ ακολουθούν αυτά που δέχθηκαν το ίδιο διάλυμα 1φ./εβδ. με εμφανείς κίτρινους χρωματισμούς (παράρτημα I, εικόνες 3 και 4). Ταυτόχρονα,

ασθενείς καφέ κηλίδες περιμετρικά των φύλλων εμφανίστηκαν στα δείγματα με ψεκασμό $\text{NaCl}+\text{H}_3\text{BO}_3$, και στις δύο συχνότητες εφαρμογής (1 φ./εβδ. και 2φ./εβδ.) στον ίδιο βαθμό (παράρτημα I, εικόνες 5 και 6). Τέλος Ιουλίου έως αρχές Αυγούστου, σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες, παρατηρούνται εντονότερα συμπτώματα στα δείγματα που ψεκάστηκαν με διάλυμα NaCl και στις δύο συχνότητες εφαρμογής όπως περιφερειακή ξήρανση που οδηγείται σε ολική και τελικώς φυλλόπτωση (παράρτημα I, εικόνες 13 και 14). Στο τέλος του πειράματος, τα φυτά με ψεκασμό NaCl είτε με, είτε χωρίς την παρουσία βορικού οξέος, στη μεγαλύτερη συχνότητα (2φ./εβδ.), είχαν πλήρη καχεκτική ανάπτυξη με το 80% του υπέργειου μέρους τους να εμφανίζει εγκαύματα και ξήρανση σε μεγάλο βαθμό (παράρτημα I, εικόνες 14 και 16). Για τις ίδιες μεταχειρίσεις, στη μικρή συχνότητα, τα φύλλα των φυτών ήταν περισσότερα αλλά παρουσίασαν εντονότερα συμπτώματα από την προηγούμενη περίοδο, όπως χλώρωση, συστροφές και εγκαύματα (παράρτημα I, εικόνα 13 και 15). Μετά το τέλος των εφαρμογών (10 Σεπτεμβρίου 2012) τα φυτά πέρασαν στη φάση επανάκαμψης με την εμφάνιση νέων φύλλων.

Από τη μελέτη των φυσιολογικών και φωτοχημικών παραμέτρων, παρατηρείται μεγάλη συσχέτιση αυτών με τα βιομετρικά χαρακτηριστικά των φυτών *Salvia officinalis* στις αντίστοιχες επεμβάσεις. Κατά τη δυσμενή περίοδο (Ιούλιος), η καταπόνηση των φυτών από το διάλυμα στο οποίο απουσίαζε το βορικό οξύ και στις δύο συχνότητες ψεκασμών (SpSa και SpSb), ήταν εμφανής στη λειτουργική φωτονιακή απόδοση της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSII}) δεδομένου ότι σημειώθηκαν οι χαμηλότερες τιμές της παραμέτρου σε σχέση με τους μάρτυρες και τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις (σχήμα 10). Στο τέλος του πειράματος (Σεπτέμβριος) οι τιμές της Φ_{PSII} διατηρήθηκαν επίσης χαμηλές σε σχέση με το μάρτυρα CD στις ίδιες επεμβάσεις (1φ./εβδ. και 2φ./εβδ.), ενώ εντοπίστηκαν μικρές διαφορές της Φ_{PSII} μεταξύ των μεταχειρίσεων SpSBa και SpSBb (σχήμα 16). Αντίστοιχα, με τη λειτουργική φωτονιακή απόδοση της φωτοχημείας του PSII (Φ_{PSII}) ήταν και η παράμετρος ETR (φαινόμενος ρυθμός ροής ηλεκτρονίων) η οποία στα φυτά που δέχθηκαν ψεκασμούς με NaCl και στις δύο συχνότητες εφαρμογής (SpSa και SpSb), διατήρησε τις χαμηλότερες τιμές σε σχέση με το μάρτυρα CD και στις δύο περιόδους μετρήσεων υποδηλώνοντας την περιορισμένη δυνατότητα αξιοποίησης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και συνεπώς την καχεκτική ανάπτυξη των φυτών στους αντίστοιχους χειρισμούς (σχήμα 11 και 17). Η παράμετρος NPQ σε αντιστοιχία με τις παραμέτρους

Φ_{PSII} και ETR, για τους ίδιους χειρισμούς, κυμάνθηκε σε υψηλές τιμές σε σχέση με τους μάρτυρες. Αντίστοιχα, υψηλότερες τιμές της παραμέτρου qN έδωσαν οι παραπάνω χειρισμοί σε σχέση με τα φυτά μάρτυρες υποδηλώνοντας υψηλότερο ποσοστό πλεονάζουσας ενέργειας διέγερσης και άρα ενεργειακής πίεσης στα φωτοσυστήματα I και II, γεγονός το οποίο ενδεχομένως σχετίζεται με την καταπόνηση από αλατότητα και επέχει μεγαλύτερο ρίσκο φωτοαναστολής και συσσώρευσης βλάβης από υψηλές εντάσεις ακτινοβολίας. Από τις τιμές της θεμελιώδους φωτοχημικής ικανότητας (Φ_{PSIIo}) προκύπτει ότι την εντονότερη καταπόνηση εμφάνισαν τα φυτά τα οποία δέχθηκαν το διάλυμα NaCl με συχνότητα εφαρμογής 2φ./εβδ. και για τις δύο περιόδους μέτρησης (σχήμα 9 και 15). Στο τέλος της δυσμενούς περιόδου (Σεπτέμβριος) η παράμετρος Φ_{PSIIo} έδωσε τιμές ακόμα χαμηλότερες οι οποίες χαρακτηρίζονται από έντονη καταπόνηση των φυτών από την περίοδο του καλοκαιριού.

Η φωτοσυνθετική δραστηριότητα (A) των φύλλων που δέχθηκαν τους πειραματικούς χειρισμούς εμφανίζεται χαμηλότερη από αυτή των δύο τύπων μάρτυρα (CD και CDw) και για τις δύο περιόδους μέτρησης (σχήματα 26 και 29). Συγκεκριμένα, τον Ιούλιο τα φυτά στα οποία εφαρμόστηκε διάλυμα με NaCl 2φ./εβδ. (μεταχείριση SpSb) παρουσίασαν τις χαμηλότερες τιμές της παραμέτρου (σχήμα 26), ενώ το Σεπτέμβριο τις χαμηλότερες τιμές της παραμέτρου A έδειξαν τα φυτά που δέχθηκαν ψεκάσμο με διάλυμα NaCl+H₃BO₃ 2φ./εβδ. (μεταχείριση SpSBb) (σχήμα 29). Η τελευταία παρατήρηση μπορεί να οφείλεται στην έντονη συσσώρευση του βορίου στα φύλλα των φυτών με αποτέλεσμα την εμφάνιση τοξικότητας. Για τις ίδιες μεταχειρίσεις, υπήρξε η ίδια συμπεριφορά και για τις παραμέτρους E και g_s , αντίστοιχα για την κάθε περίοδο (σχήματα 27-28 και 30-31). Ως συμπέρασμα λοιπόν, προκύπτει πως η εφαρμογή διαλύματος NaCl με την παρουσία ή χωρίς βορικού οξέος, σε υψηλή συχνότητα εφαρμογής είχε ως αποτέλεσμα την έντονη καταπόνηση των φυτών λόγω αλατότητας.

Οι χλωροπλάστες των καταπονημένων φύλλων λόγω αλατότητας παρουσιάζουν χαμηλή ικανότητα αξιοποίησης της φωτεινής ακτινοβολίας. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της αλλαγής των σύστασης σε χρωστικών των αντένων φωτοσυλλογής και μείωση της χλωροφύλλης b. Αυτό λοιπόν συνεπάγεται, χαμηλότερες τιμές συγκέντρωσης της συνολικής χλωροφύλλης στα φυτά που έχουν δεχθεί τις πειραματικές μεταχειρίσεις συγκριτικά με τους μάρτυρες με αποτέλεσμα τα

καταπονημένα φύλλα να εμφανίζουν δυσλειτουργία της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας (σχήμα 21 και 22).

Τα παραπάνω δείχνουν ότι η ανάπτυξη των φυτών υπό την επίδραση μικροσταγονιδίων διαλύματος NaCl παρουσία βορικού οξέος, ήταν μεγαλύτερη κατά την περίοδο του καλοκαιριού, όπου εντοπίζεται η δυσμενής περίοδος από πλευράς διαθεσιμότητας υγρασίας σε συνδυασμό με τις αυξημένες διαπνευστικές ανάγκες των φυτών, τα οποία ανταπεξήλθαν καλύτερα της καταπόνησης.

Nerium oleander

Από τη μελέτη της ανάπτυξης του *Nerium oleander* ελήφθησαν αποτελέσματα με μη σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των επεμβάσεων, τόσο στα βιομετρικά χαρακτηριστικά όσο και στις φωτοχημικές παραμέτρους που μελετήθηκαν. Αναλυτικότερα, τα φυτά *Nerium oleander* που δέχθηκαν τις μεταχειρίσεις δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές στο τελικό τους ύψος σε σχέση με τους μάρτυρες, ωστόσο παρατηρήθηκε ταχύτερη προώθηση της ανάπτυξής τους μέχρι το τέλος της περιόδου καλλιέργειας. Κάποιες μικροδιαφορές στο ύψος ορισμένων φυτών μπορεί να οφείλονται σε τυχαία επιλογή δειγμάτων - ανομοιογένεια ενώ η επίδραση του διαλύματος NaCl, είτε με, είτε χωρίς την παρουσία βορικού οξέος φάνηκε να μην έχει καμία σημαντική επίδραση (σχήμα 32). Στη μέτρηση του LAI δεν υπάρχει σημαντική επίδραση της αλατότητας στα φυτά των μεταχειρίσεων σε σχέση με τους μάρτυρες (σχήμα 33). Επίσης, δεν παρατηρήθηκαν συμπτώματα πάχυνσης των φύλλων της *Nerium oleander* και συνεπώς κανένας βαθμός καταπόνησης των φυτών (πίνακας 4). Επιπλέον, είναι εμφανές ότι τα φύλλα δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις τιμές της RWC σε σχέση με τους μάρτυρες και συνεπώς υποδεικνύουν το βαθμό εγκλιματισμού των φυτών στα διαφορετικά επίπεδα αλατότητας (σχήμα 34).

Οι φωτοχημικές παράμετροι του φυτού *Nerium oleander* δεν έδειξαν ιδιαίτερα έντονη απόκριση στις πειραματικές μεταχειρίσεις κατά τη δυσμενή περίοδο (Αύγουστος). Η επέμβαση με διάλυμα NaCl 2φ./εβδ. (μεταχείριση SpSb) έδωσε φυτά με καλύτερες τιμές των φωτοχημικών παραμέτρων (Φ_{PSII} , ETR) συγκριτικά με τα φυτά των άλλων μεταχειρίσεων στα οποία υπάρχει ταύτιση των τιμών της παραμέτρου για όλες τις εντάσεις PAR μεταξύ αυτών και των CD και CDw (σχήμα 41 και 42).

Οι χαμηλότερες τιμές των συντελεστών μη φωτοχημικής απόσβεσης του φθορισμού της χλωροφύλλης του PSII (NPQ και qN) παρατηρούνται στα φυτά τα οποία δέχθηκαν εφαρμογή με διάλυμα NaCl 1φ./εβδ. (μεταχείριση SpSa), χωρίς να επηρεάζεται η μακροσκοπική εικόνα των φυτών. Μεταξύ των υπόλοιπων μεταχειρίσεων δε σημειώθηκαν σαφείς διαφορές για τις παραμέτρους αυτές (σχήματα 44 και 45). Η παράμετρος Φ_{PSII} , η οποία σχετίζεται με τη φυσιολογική κατάσταση της φωτοσυνθετικής συσκευής και αποτελεί έναν σχετικά ευαίσθητο δείκτη συσσωρευμένης καταπόνησης των φυτών, έδειξε πολύ καλή σύμπτωση με την ανάπτυξη των φυτών και σημείωσε σχετικά υψηλές τιμές, χωρίς να υπάρχουν διαφοροποιήσεις μεταξύ των μεταχειρίσεων (σχήμα 40).

Από τη μελέτη των παραμέτρων ανταλλαγής αερίων (A, E και g_s) συμπεραίνουμε πως η επίδραση του διαλύματος NaCl δεν ήταν αισθητή στα φυτά των μεταχειρίσεων (σχήματα 50-52), γεγονός το οποίο αποδεικνύεται και από τη μακροσκοπική εικόνα των φυτών. Ως προς τη συνολική συγκέντρωση χλωροφυλλών ανά επιφάνεια φύλλου, δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών χειρισμών (σχήμα 46), υποδεικνύοντας πως οι χλωροπλάστες αξιοποιούν τη φωτεινή ακτινοβολία και η φωτοσυνθετική δραστηριότητα λειτουργεί σε κανονικά επίπεδα.

Ως εκ τούτου, από τα δεδομένα βιομετρικών και φυσιολογικών παραμέτρων συγκλίνουμε στην άποψη ότι το φυτό αυτό φαίνεται πως ανταποκρίνεται καλύτερα στην έκθεση μικροσταγονιδίων άλατος συγκριτικά με το φασκόμηλο. Ειδικότερα, οι διαφορές στις βασικές φωτοχημικές παραμέτρους μεταξύ των μεταχειρίσεων, ακόμα και στη δυσμενέστερη περίοδο του καλοκαιριού, ήταν μικρές. Για το λόγο αυτό, και σε συνδυασμό με τη μη απόκριση των φυτών *Nerium oleander* στον παράγοντα της αλατότητας, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μόνο κατά τη διάρκεια της δυσμενούς περιόδου (Αύγουστος).

Στην παρούσα μελέτη η συσχέτιση όλων των παραπάνω παραμέτρων με τα βιομετρικά χαρακτηριστικά και εν γένει την κατάσταση των φυτών, υπό αυτές τις συνθήκες, ήταν αρκετά ικανοποιητική για τα είδη *Nerium oleander*, αναφερόμενο ως είδος ανθεκτικό στα υδροσταγονίδια άλατος, και για τα είδη *Salvia officinalis* ήταν καχεκτική, αποδεικνύοντας πως αυτό το είδος φυτού καθίσταται ευαίσθητο στα άλατα. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι οι παράμετροι της φωτοχημείας του φωτοσυστήματος II δεν είναι καθοριστικές από

μόνες τους για την πορεία ανάπτυξης ενός φυτού και ότι η μελέτη τους σχετίζεται με ένα ή περισσότερα διακριτά στιγμιότυπα στη ζωή ενός φυτού. Αντίθετα οι αναπτυξιακές παράμετροι απεικονίζουν το συσσωρευτικό αποτέλεσμα όλων των παραγόντων του περιβάλλοντος από την αρχή έως το τέλος της περιόδου ανάπτυξης σε συνδυασμό με το γονότυπο του φυτού. Έτσι η στιγμιαία καταγραφή μιας δυσμενούς για το φυτό τιμής μιας παραμέτρου δεν αποτελεί προϋπόθεση για κακή ανάπτυξη, ενώ αντίστοιχα μια δυσμενής συγκυρία στη ζωή ενός φυτού, παρότι πρόσκαιρη, μπορεί να επιδράσει καταλυτικά στην ανάπτυξή του αλλά να μην καταγραφεί ως γεγονός από σημειακές μετρήσεις όπως αυτές της χλωροφύλλης.

Όπως παρατηρήθηκε σε ορισμένες παραμέτρους ανάπτυξης των υπό μελέτη φυτών *Salvia officinalis* και *Nerium oleander*, οι μεταχειρίσεις με διάλυμα NaCl παρουσία βορικού οξέος έδειξαν σε αρκετές περιπτώσεις καλύτερη συμπεριφορά συγκριτικά με το διάλυμα NaCl στο οποίο απουσίαζε το H₃BO₃. Σχετικές μελέτες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η ύπαρξη βορίου σε διαλύματα υψηλής αλατότητας αμβλύνει τα συμπτώματα που προκαλεί αυτή. Σε μελέτη των Bastías *et al.* (2005) για το *Zea mays* L. amyacea και τους φυσιολογικούς μηχανισμούς αντοχής του είδους σε υψηλά επίπεδα NaCl και βορίου, παρουσιάζεται το βόριο να μετριάξει τις δυσμενείς επιπτώσεις της αλατότητας στους ιστούς του φυτού και να διατηρεί την ακεραιότητα των μεμβρανών. Επίσης, λόγω μεταφοράς του στα φύλλα του φυτού διατηρεί καλύτερη RWC. Στη δική μας περίπτωση, την περίοδο του Ιουλίου, η συμμετοχή του βορίου στο διάλυμα έδρασε με παρόμοια συμπεριφορά στα φυτά *Salvia officinalis* σημειώνοντας καλύτερα επίπεδα τιμών των φυσιολογικών παραμέτρων, σε σχέση με το διάλυμα NaCl (σχήματα 9-14), ενώ διατήρησε ικανοποιητικά υψηλές τιμές RWC, χωρίς να παρουσιάζεται σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των μεταχειρίσεων και για τις δύο περιόδους μέτρησης (σχήμα 3). Παρά το γεγονός ότι το βόριο ενισχύει ελαφρώς την επίδραση της αλατότητας στη αφομοίωση του CO₂, δεν παρατηρήθηκε καμία επίδραση στις φωτοχημικές παραμέτρους του φυτού *Zea mays* L. amyacea. Συνεπώς, η παρουσία του βορίου φαίνεται να συνεισφέρει στη διατήρηση της ελαστικότητας των κυτταρικών τοιχωμάτων και κατ'επέκταση στην επιβίωση του συγκεκριμένου είδους σε εδάφη υψηλής αλατότητας (Bastías *et al.*, 2005)

Οι Banón *et al.* (2012) μελέτησαν την επίδραση κάποιων φυσιολογικών παραμέτρων των *Viburnum tinus* και *Metrosideros excelsa* μέσω της άρδευσης με

νερό υψηλής αλατότητας, το οποίο εμπεριέχει βόριο. Η τοξικότητα του βορίου προκάλεσε περιφερειακό κάψιμο στα χαμηλότερα φύλλα του *V. tinus* ενώ αντίθετα τα συμπτώματα αυτά απουσίαζαν από το *M. excelsa*. Όσον αφορά τη μακροσκοπική εικόνα των φυτών της παρούσας μελέτης, τα συμπτώματα για το *Salvia officinalis* στο τέλος του πειράματος, ήταν ανάλογα με αυτά της μελέτης για το *Viburnum tinus*, όπου παρατηρήθηκε συσσώρευση τοξικών επιπέδων βορίου, εκδηλώνοντας συστροφές, περιφερειακή ξήρανση και εγκαύματα (εικόνες 15, 16 και 18), ενώ φάνηκε να απουσιάζουν από τα φυτά *Nerium oleander*.

Σε παρόμοια μελέτη (Banón *et al.*, 2012) για το *V. tinus* ερευνήθηκε η επίδραση της αλατότητας και της τοξικότητας του βορίου στην ανάπτυξη και τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα του φυτού στο θερμοκήπιο. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι το ξηρό βάρος (DW) του φυτού μειώθηκε με την επίδραση και των δύο παραγόντων αλλά η αλληλεπίδραση μεταξύ τους δεν ήταν σημαντική. Στη συγκέντρωση του βορίου στα φύλλα του φυτού, οι δύο παράγοντες έδρασαν ανταγωνιστικά αφού η αλατότητα μείωσε τη συσσώρευση του στοιχείου. Από την άλλη πλευρά, η περίσσεια του βορίου δεν επηρέασε τις συγκεντρώσεις Na και Cl στα φύλλα. Τα καταπονημένα λόγω αλατότητας φυτά έδειξαν προσαρμοστική ανταπόκριση στην αλατότητα, η οποία μείωσε τη στοματική αγωγιμότητα, τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα, την απόδοση του PSII ενώ απέδωσαν μεγάλο ποσό ενέργειας με τη μορφή θερμότητας (υψηλή NPQ). Αντίστοιχα στη δική μας μελέτη, τα καταπονημένα φυτά *Salvia officinalis* έδειξαν ανάλογη συμπεριφορά, και οι φυσιολογικές και φωτοσυνθετικές παράμετροι διαμορφώθηκαν με τον ίδιο τρόπο. Αναλυτικότερα, η επίδραση του διαλύματος NaCl στα φυτά *Salvia officinalis* μείωσε σε μεγάλο βαθμό τις τιμές της A (σχήμα 26), της g_s (σχήμα 28) και της Φ_{PSII} (σχήμα 10) την περίοδο του Ιουλίου, ενώ απέδωσε υψηλά ποσά ενέργεια υπό μορφή θερμικών απωλειών (υψηλή NPQ-σχήμα 14), σε σχέση με τους μάρτυρες και τις αντίστοιχες μεταχειρίσεις παρουσία βορικού οξέος. Αντίθετα, στο τέλος του πειράματος (Σεπτέμβριος), είναι εμφανής η περίσσεια του βορίου, η οποία σε συνδυασμό με την αλατότητα, στη μεγαλύτερη συχνότητα, σημείωσε τις χαμηλότερες τιμές των φυσιολογικών παραμέτρων ανάπτυξης των φυτών (σχήματα 15-17 και 29-31) και έκανε ορατά τα συμπτώματα της καταπόνησης. Συμπερασματικά, ο συνδυασμός αλατότητας και τοξικότητας βορίου στο πείραμα των Banón *et al.* (2012) διατήρησε τη φωτοχημική ικανότητα του PSII, μείωσε την αποτελεσματικότητα της

φωτοσύνθεσης, της g_s και της NPQ, προκάλεσε διαταραχές στη ροή των ηλεκτρονίων (ETR), ενώ παράλληλα σημείωσε το χαμηλότερο ξηρό βάρος του φυτού και έδωσε φυτά με φτωχή εμπορική ποιότητα. Ανάλογα αποτελέσματα φτωχής ποιότητας φυτών λόγω τοξικότητας βορίου, εμφανίστηκαν στα φυτά *Salvia officinalis* την περίοδο του Σεπτεμβρίου (εικόνες 15, 16 και 18).

Σε πείραμα των Neocleous & Vasilakakis (2008) για τις επιδράσεις του βορίου και της αλατότητας σε μοσχεύματα κόκκινου βατόμουρου (*Rubus idaeus* L.) *in vitro* βρέθηκε ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις βορίου και αλάτων μείωσαν το νωπό και ξηρό βάρος και το μέσο μήκος βλαστού των μοσχευμάτων. Όταν το βόριο αυξήθηκε, μειώθηκε η συγκέντρωση και ο φθορισμός της χλωροφύλλης στα φύλλα. Αντίστοιχα στη δική μας περίπτωση, για τα φυτά *Salvia officinalis*, η παράμετρος Φ_{PSII} , όταν αυξήθηκε η συσσώρευση του βορίου στα φύλλα, σημείωσε μείωση των τιμών της (σχήμα 15), σε αντίθεση με την περίοδο του Ιουλίου, όπου η συμμετοχή του βορίου φάνηκε να άρει τις δυσμενείς επιπτώσεις του NaCl (σχήμα 9), ενώ για τα φυτά *Nerium oleander* δεν παρατηρήθηκε κάτι ανάλογο αφού δεν εμφανίστηκε σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των μεταχειρίσεων (σχήμα 40). Ως προς τη συγκέντρωση των χλωροφυλλών, δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές και στα δύο είδη φυτών (σχήματα 21-22 και 46). Συνδυαστικά με αυξημένες συγκεντρώσεις NaCl, ενισχύθηκε η απορρόφηση B, Cl και Na, ενώ το βόριο μεμονωμένα ενίσχυσε την πρόσληψη και τη συσσώρευση Cl και Na στα μοσχεύματα *Rubus idaeus* L., όμως το αντίστροφο δεν ήταν εφικτό. Εν τέλει, ο σχετικός ρυθμός ανάπτυξης των μοσχευμάτων, κάτω από τη συνεργιστική δράση B και NaCl έδειξε να φθίνει ταχέως στην εφαρμογή των υψηλότερων συγκεντρώσεων B και NaCl. Η τοξικότητα αλατότητας και βορίου περιορίζει επίσης την παραγωγή του *Capsicum annuum* L. (Supanjani, 2006). Συγκεκριμένα, το ξηρό βάρος του φυτού και το ολικό περιεχόμενο της χλωροφύλλης μειώθηκε με την αύξηση των επιπέδων των δύο παραγόντων και δρώντας συνδυαστικά μείωσαν τις τιμές της στοματικής αντίστασης και διατάραξαν τη θρεπτική ισορροπία του φυτού με αποτέλεσμα την καταστολή της ανάπτυξης του.

Από την άλλη πλευρά, οι Banón *et al.* (2012) αξιολόγησαν τις επιδράσεις της υψηλής αλατότητας και του βορίου στην ανάπτυξη, την ανταλλαγή αερίων, τη φωτοχημική δραστηριότητα, την πρόσληψη των ιόντων καθώς και την αλληλεπίδρασή τους σε φυτά *Pelargonium x hortorum* L.H. Bailey. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η τοξικότητα του βορίου μείωσε το ξηρό βάρος του υπέργειου

μέρους του φυτού και προκάλεσε περιφερειακό κάψιμο στα ώριμα φύλλα, ενώ η αλατότητα μείωσε την υπέργεια ανάπτυξη και προκάλεσε μικρότερη ορατή καταστροφή των φύλλων. Σε υψηλά επίπεδα αλατότητας, η τοξικότητα βορίου ήταν λιγότερο επιβλαβής, οπτικά και ποσοτικά, απ' ό,τι σε χαμηλά επίπεδα της ίδιας. Η αυξημένη αλατότητα δρώντας συνδυαστικά με υψηλές συγκεντρώσεις βορίου είχε ανταγωνιστική συμπεριφορά αφού μείωσε τη συγκέντρωση του στοιχείου αλλά και την ανάπτυξη του φυτού λόγω της μικρότερης διαθέσιμης φυλλικής επιφάνειας για φωτοσύνθεση, παρά λόγω του περιορισμού των ποσοστών αφομοίωσης. όπως συνέβει με τη μεταχείριση NaCl 2φ/εβδ. στην παρούσα μελέτη για τα φυτά *Salvia officinalis* κατά την περίοδο του Ιουλίου. Ως είδος απαγορευμένο προς εγκατάσταση σε παραθαλάσσιες τοποθεσίες θεωρείται το *Sequoia sempervirens* Endl. (Wu & Guo, 2006) καθώς η συσσώρευση Na και Cl στα φύλλα του δεν επηρεάστηκε από την προσθήκη βορίου σε ανάλογο πείραμα, αλλά τα συμπτώματα της καταπόνησης ήταν πρόσθετα. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν σε μελέτη επίδρασης των δύο παραγόντων σε φυτά *Phoenix dactylifera* L. cv. Medjool σχετικά με τη φωτοχημική απόδοση και τη διαπνοή. Οι συνθήκες αλληλεπίδρασης αλατότητας και βορίου, δε σημείωσαν αθροιστική δράση στην ανάπτυξη των φυτών. Αυτό που προκάλεσαν μαζί ήταν η μείωση της πρόσληψης του νερού και κατ' επέκταση το μειωμένο μέγεθος του δέντρου (Tripler *et al.*, 2007). Από τα αποτελέσματα της δικής μας μελέτης, η δράση του NaCl και H₃BO₃ φάνηκε να είναι ανταγωνιστική στο μέσον αλλά όχι και έως το τέλος του πειράματος, για τα φυτά *Salvia officinalis*, δεδομένου ότι οι τιμές των παραμέτρων Φ_{PSIIo}, A και ανταλλαγής αερίων (E και g_s) ήταν σε χαμηλά επίπεδα σε σχέση με τους μάρτυρες αλλά επίσης συγκρίσιμες ή και χαμηλότερες από τις τιμές των παραπάνω παραμέτρων στα φυτά όπου εφαρμόστηκε μόνο το διάλυμα NaCl (σχήματα 9, 26-28, 15 και 29-31).

Συνοψίζοντας τα συμπεράσματα, φαίνεται πως ο παράγοντας της αλατότητας όπως εφαρμόστηκε με ψεκάσμό του φυλλώματος δεν επηρέασε δυσμενώς την ανάπτυξη και το φωτοσυνθετικό μηχανισμό του *Nerium oleander*. Συνεπώς, δεν ανταποκρίθηκε αρνητικά στις διάφορες επεμβάσεις και επιβεβαιώνεται η χρήση του ως καλλωπιστικό σε παραθαλάσσιες περιοχές. Αντίθετα, το *Salvia officinalis*, στις χρονικές περιόδους που μελετήθηκε έδειξε μεγαλύτερη ευαισθησία προς τον παράγοντα της αλατότητας και ειδικότερα, φυτά που δέχθηκαν τη μεταχείριση SpSb, υπέστησαν έντονη καταπόνηση εκφρασμένη τόσο σε φυσιολογικές όσο και

φωτοχημικές παραμέτρους, καθώς και στα βιομετρικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά τους. Επιπρόσθετα, η προσθήκη βορικού οξέος στο διάλυμα έδειξε να αμβλύνει τη δυσμενή επίδραση του NaCl ιδιαίτερα όταν εφαρμόστηκε στη χαμηλή συχνότητα. Ωστόσο, περαιτέρω πειραματισμός θα συμβάλει στην ασφαλή επιλογή τους για φύτευση σε περιβάλλοντα που βρίσκονται σε άμεση γειτνίαση με τη θάλασσα.

E. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Banón S., Miralles J., Conesa E., Ochoa J., Franco J.A. and Blanco M.J.S., 2012. Effects of salinity and boron excess on the growth, photosynthesis, water relation and mineral composition of laurustinus grown in greenhouse. *Acta Horticulturae*, 927 pp. 379-384.

Banón S., Miralles J., Ochoa J. and Sánchez-Blanco M.J., 2012. Hie effect of salinity and high boron on growth, photosynthetic activity and mineral contents of two ornamental shrubs. *Horticultural Science*, 39 (4) pp. 188-194.

Banón S., Miralles J., Valdés R., Conesa E., Franco J.A. and Sánchez-Blanco M.J., 2012. Agronomical and physiological response of geranium to salinity and boron toxicity. *Acta Horticulturae*, 952 pp. 959-966.

Bastías E.I., González-Moro M.B. and González-Murua C., 2005. Zea mays L. amylacea from Lluta Valley (Arica-Chile) tolerates salinity stress when high levels of boron are available. *Plant and Soil*, 267 (1-2) pp. 73-84.

Bongi G. and Loreto F., 1989. Gas-exchange properties of salt-affected olive (*Olea europea* L.) leaves. *Plant Physiol.*, 90 pp. 1408-1416.

Cainadas E., Margaris N.S. and Theodorakis M., 2000. Flowers of Athens: A field guide, εκδόσεις Πατάκης.

Chaves M.M., Flexas J. and Pinheiro C., 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103 pp. 551-560.

Fryer M.J., Andrews J.R., Oxborough K., Blowers D.A. and Baker N.R., 1998. Relationship between CO₂ assimilation, photosynthetic electron transport, and active O₂ metabolism in leaves of maize in thw field during periods of low temperature. *Plant Physiology*, 116 pp. 571-80.

Genty B., Briantais J.-M. and Baker N.R., 1989. The relationship between the quantum yield of photosyntetic electron trensport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochemica et Biophysica Acta*, 990 pp. 87-92.

Genty B., Harbinson J., Briantais J.-M. and Baker N.R., 1990. The relationship between non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence and the rate of photosystem 2 photochemistry in leaves. *Photosynthesis Research*, 25 pp. 249-257.

Gildemeister H., 2004. *Κήποι στο φως της Μεσογείου*, Εκδόσεις Ποταμός

Govindjee, 1995. Sixty-three years since Kautsky: Chlorophyll a Fluorescence. *Australian Journal of Plant Physiology*, 22 pp. 131-160.

Jordan L.A., Devitt D.A., Morris R.L. and Neuman D.S., 2001. Foliar damage to ornamental trees sprinkler-irrigated with reuse water. *Irrig Sci*, 21 pp. 17-25.

Lichtenthaler H.K., 1987. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148 pp. 350-382.

Logan B.A., Adams III W.W. and Demmig-Adams B., 2007. Viewpoint: Avoiding common pitfalls of chlorophyll fluorescence analysis under field conditions. *Functional Plant Biology*, 34 pp. 853-859.

Maxwell K. and Johnson G.N., 2000. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51 No.345 pp. 659-668.

Müller P., Li X-P and Niyogi K.K., 2001. Non-Photochemical Quenching. *Plant Physiology*, 125 pp. 1558-1566.

Neocleous D. and Vasilakakis M., 2008. Effects of boron and salinity on red raspberry in vitro. *International Journal of Fruit Science*, 8 (3) pp. 216-225.

Niu G. and Rodriguez D.S., 2006. Relative salt tolerance of five herbaceous perennials. *HortScience*, 41 pp.1493-1497.

Niyogi K.K., 2000. Safety valves for photosynthesis. *Current Opinion in Plant Biology*, 3 pp. 455-460.

Parida A. K. and Das A.B., 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60 pp. 324-349.

Power P.P. and Woods W.G., 1997. The chemistry of boron and its speciation in plants. *Plant and Soil*, 193 pp. 1-13.

Quattrocchi Umberto, 1999. CRC World Dictionary of Plant Names: Common Names, Scientific Names, Eponyms, Synonyms, and Etymology., Vol. III & IV, Lewis Publishers.

Richmond Amos, 2004. Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology. Chapter 2 Photosynthesis in Microalgae., Blackwell Science Ltd.

Sánchez-Blanco M.J., Rodríguez P., Olmos E., Morales M.A. and Torecillas A., 2004. Plant and Environment Interactions – Differences in the effects of simulated sea aerosol on water relations, salt content, and leaf ultrastructure of rock-rose plants. *Journal of Environmental Quality*, 33 pp. 1369-1375.

Schmidt R. M., 1998. Gardening on the Eastern Seashore. Pine Barrens Press

Shannon M. C., 1997. Adaptation of plants to salinity. *Advances in Agronomy*, Vol. 60 pp. 75-120.

Stenberg P., Linder S., Smolander H. and Flower-Ellis J., 1994. Performance of the LAI-2000 plant canopy analyzer in estimating leaf area index of some Scots pine stands. *Tree Physiology*, 14 pp. 981-995.

Supanjani Lee K. D., 2006. Hot pepper response to interactive effects of salinity and boron. *Plant, Soil and Environment*, 52 (5) pp. 227-233.

Szabo I., Bergantino E. and Giacometti G.M., 2005. Light and oxygenic photosynthesis: energy dissipation as a protection mechanism against photo-oxidation. *EMBO reports*, 6 pp. 629-634.

Tjia B. and Rose S. A., 1987. Salt tolerant bedding plants. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 100 pp.181-182.

Tripler E., Ben-Gal A. and Shani U., 2007. Consequence of salinity and excess boron on growth, evapotranspiration and ion uptake in date palm (*Phoenix dactylifera* L., cv. Medjool. *Plant and Soil*, 297 (1-2) pp. 147-155.

Tyystjärvi E., Koski A., Karänen M. and Nevalainen O., 1999. The Kautsky Curve is a Built-in Barcode. *Biophysical Journal*, 77 pp. 1159-1167.

Walters R.G. and Horton P., 1991. Resolution of components of non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching in barley leaves. *Photosynthesis Research*, 27 pp. 121-133.

Watson D. J., 1958. The dependence of net assimilation rate on leaf area index. *Ann. Bot. N. S.* 22 pp. 37-54.

White A.J. and Critchley C., 1999. Rapid light curves: A new fluorescence method to assess the state of the photosynthetic apparatus. *Photosynthesis Research*, 59 pp. 63-72.

Wrobel M. and Creber G., 1999. Elsevier's Dictionary of Plant Names., Elsevier Science Ltd.

Wu L. and Guo X., 2006. Response of two coast redwood (*Sequoia sempervirens* Endl.) varieties to moderate levels of salt and boron spray measured by stress symptoms: Implications for landscape irrigation using recycled water. *Environmental and Experimental Botany*, 58 (1-3) pp. 130-139.

Yamasaki S. and Dillenburg L. R., 1999. Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. *Revista Brasileira de Fisiologia, Vegetal* 11 pp. 69-75.

Zelitch Israel, 1971. Photosynthesis, photorespiration and plant productivity. Academic Press, Inc., United States of America.

Zurayk R., Tabbarah D. and Banbukian L., 1993. Preliminary studies on the salt tolerance and sodium relations of common ornamental plants. *Journal of Plant Nutrition*, 16 (7) pp. 1309-1316.

Αϊβαλάκης Γ., Καραμπουρνιώτης Γ. και Φασσέας Κ., 2005. Γενική Βοτανική: η Μορφολογία, η Ανατομία και η Φυσιολογία των Ανώτερων Φυτών. Εκδόσεις Έμβρυο, Αθήνα.

Ακουμιανάκη-Ιωαννίδου Α., Ευθυμιάδου Ε. και Τσιγκιστάρης Κ., 2000. Φυτά Κηποτεχνίας 2ος κύκλος ΤΕΕ Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, Αθήνα.

Καββαδάς Δ.Σ., 1990. Εικονογραφημένον Βοτανικόν Φυτολογικόν Λεξικόν, Τόμος VI & V, Εκδόσεις Πελεκάνος, Αθήνα.

Κανταρτζής Ν. Α., 2003. Ανθοκομία – Τοπία, κήποι και φυτά παραθαλάσσιων περιοχών για την Αρχιτεκτονική και Αρχιτεκτονική του Τοπίου, Τόμος 14, Εκδότης Κανταρτζής Νικόλαος, Αθήνα.

Καραμάνος Α., 1993. Γενική Γεωργία Μέρος Ι. Το εναέριο περιβάλλον. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Καραμπουρνιώτης Γ., Λιακόπουλος Γ. και Νικολόπουλος Δ., 2012. Φυσιολογία Καταπόνησεων των Φυτών: οι λειτουργίες των φυτών κάτω από αντίξοες συνθήκες του περιβάλλοντος. Εκδόσεις Έμβρυο, Αθήνα.

Λιάπη Μαρία, 2006. Αξιοποίηση του νερού και της ηλιακής ακτινοβολίας σε καλλιέργεια γλυκού σόργου και εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς κατά FAO (Penman Monteith). Μεταπτυχιακή εργασία, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στις Περιβαλλοντικές Επιστήμες, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.

Λώλης Ευάγγελος, 2011. Επίδραση του τύπου και του πάχους του υποστρώματος ανάπτυξης φυτών *Rosmarinus officinalis* “Prostratus” και *Teucrium chamaedrys* σε σύστημα φυτοδώματος. Μεταπτυχιακή μελέτη, Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Μαλούπα Ε., Κρίγκας Ν., Καρύδας Α. και Παπαναστάση Κ., 2011. Ex situ διατήρηση αυτοφυών ειδών της ελληνικής χλωρίδας στο εργαστήριο προστασίας και αξιοποίησης αυτοφυών και ανθοκομικών ειδών του Εθνικού Ιδρύματος Αγροτικής Έρευνας. Πρακτικά 4^{ου} Περιβαλλοντικού Συνεδρίου Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη.

Μπουχέλος Κ., 2013. Φασκομηλιά η σωτήριος, Αγροτικά νέα.

Μπρέστα Παναγιώτα, 2009. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης σε φυσιολογικές και ανατομικές παραμέτρους των φύλλων σε ανθεκτικές και μη ποικιλίες σίτου. Μεταπτυχιακή ερευνητική εργασία, Τμήμα Βιοτεχνολογίας, Εργαστήριο Φυσιολογίας και Μορφολογίας Φυτών, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Παπαδάκης Ι.Ε., 2002. Φυσιολογική και ανατομική μελέτη της τοξικότητας του βορίου στα εσπεριδοειδή. Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Ποδαροπούλου Λαμπρινή, 2011. Επίδραση του τύπου και του πάχους του υποστρώματος ανάπτυξης φυτών *Mentha pulegium*, *Phlomis fruticosa* και *Hyssopus officinalis* σε συστήματα φυτοδώματος. Μεταπτυχιακή μελέτη, Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Σεραϊδης Π., 2000. Φυτά της Λέσβου. Promoline A.E., Μυτιλήνη.

Προσωπικό αρχείο

Διαδίκτυο

Δ1:<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CE%B1%CF%83%CE%BA%CF%8C%CE%BC%CE%B7%CE%BB%CE%BF>

Δ2:<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%B9%CE%BA%CF%81%CE%BF%CE%B4%CE%AC%CF%86%CE%BD%CE%B7>

Δ3:<http://www.fws.gov/screfugescomplex/challenges.html>

Δ4:[http://ookaboo.com/o/pictures/picture/12343952/Salt crystals formed on grey mangrove le](http://ookaboo.com/o/pictures/picture/12343952/Salt_crystals_formed_on_grey_mangrove_le)

Δ5:http://en.wikipedia.org/wiki/Leaf_Area_Index

Δ6:<http://www.miltos-plastic.gr/Product.asp?ID=179>

Δ7:http://www.agrohoun.gr/products.aspx?lang=1&sub_cat=30

Δ8:<http://www.isocon.gr/greek/products/perloflor.html>

Δ9:http://www.paloplast.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=184&Itemid=180&lang=el

Δ10:<http://www.labcompare.com/518-Leaf-Area-Meter-Portable-Leaf-Area-Meters/1014-LAI-2000-Plant-Canopy-Analyzer/>

Δ11: http://www.walz.com/products/chl_p700/mini-pam/introduction.html

Δ12:http://www.adc.co.uk/Products/LCpro-SD_Advanced_Photosynthesis_Measurement_System

Δ13:http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_NaCl.htm

ΣΤ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΤΕΥΧΟΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

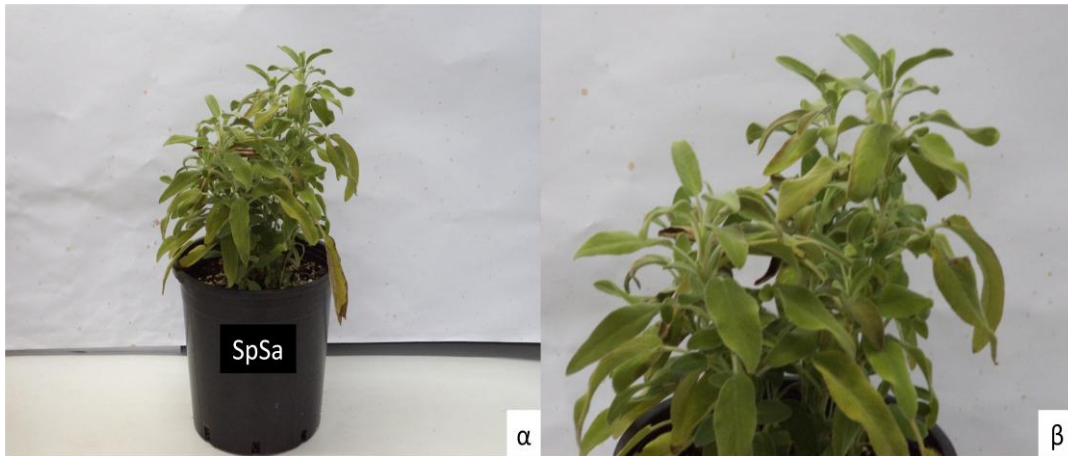
Ιούλιος (1^η φάση ανάπτυξης)



Εικόνα 1 (α): Φυτό *Salvia officinalis* μάρτυρας CD (χωρίς ψεκασμό H₂O) (β): Λεπτομέρεια φυλλώματος του ίδιου φυτού



Εικόνα 2 (α): Φυτό *Salvia officinalis* μάρτυρας CDw (με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ.) (β): Λεπτομέρεια φυλλώματος του ίδιου φυτού.



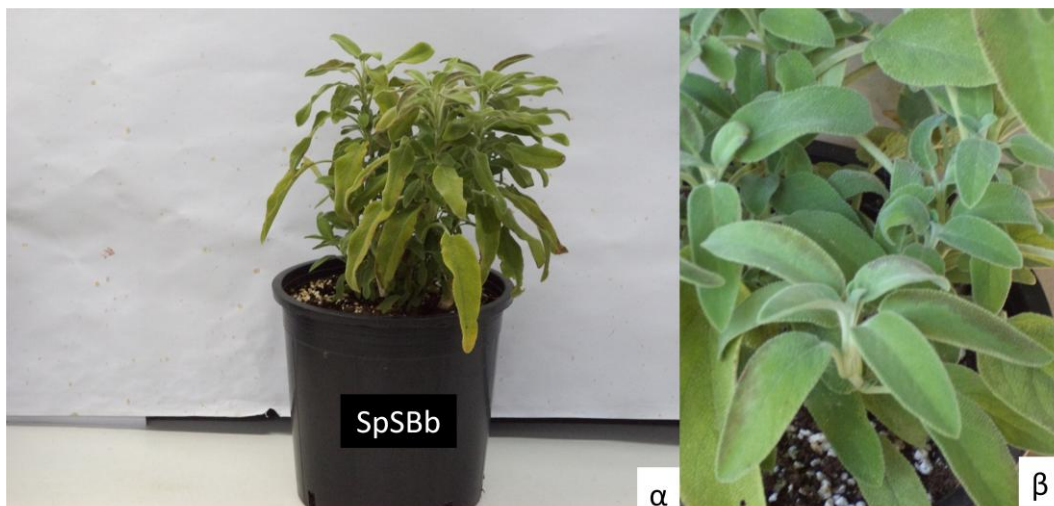
Εικόνα 3 (α): Φυτό *Salvia officinalis* που έχει δεχθεί ψεκασμό με NaCl 1φ/εβδ. (μεταχείριση SpSa) (β): Λεπτομέρεια φυλλώματος του ίδιου φυτού με την εμφάνιση ασθενών κίτρινων κηλίδων και χλώρωσης σε αρχικό στάδιο.



Εικόνα 4 (α): Φυτό *Salvia officinalis* που έχει δεχθεί ψεκασμό με NaCl 2φ/εβδ. (μεταχείριση SpSb) (β): Λεπτομέρεια φυλλώματος του ίδιου φυτού με συστροφές και έναρξη περιφερειακής ξήρανσης.



Εικόνα 5 (α): Φυτό *Salvia officinalis* που έχει δεχθεί ψεκασμό με $\text{NaCl}+\text{H}_3\text{BO}_3$ 1φ/εβδ. (μεταχείριση SpSBa) (β): Λεπτομέρεια φυλλώματος του ίδιου φυτού με εμφάνιση περιφερειακών καφέ κηλίδων.



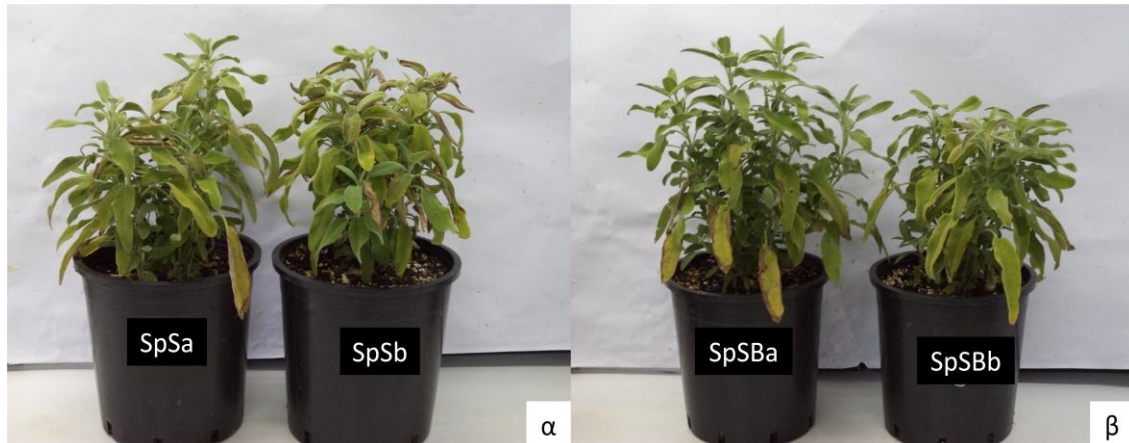
Εικόνα 6 (α): Φυτό *Salvia officinalis* που έχει δεχθεί ψεκασμό με $\text{NaCl}+\text{H}_3\text{BO}_3$ 2φ/εβδ. (μεταχείριση SpSBb) (β): Λεπτομέρεια φυλλώματος του ίδιου φυτού με εμφάνιση περιφερειακών καφέ κηλίδων.



Εικόνα 7 Φυτά *Salvia officinalis* που έχουν δεχθεί τις μεταχειρίσεις SpSa (ψεκασμό με NaCl 1φ/εβδ.) και SpSb (ψεκασμό με NaCl 2φ/εβδ.) και μάρτυρας CDw (με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ.). Τα συμπτώματα της επίδρασης της αλατότητας στο φύλλωμα των φυτών είναι εντονότερα στα φυτά της μεταχείρισης SpSb με συστροφή φύλλων και περιφερειακή ξήρανση σε σχέση με τα φυτά της μεταχείρισης SpSa και τον μάρτυρα CDw.



Εικόνα 8 Φυτά *Salvia officinalis* που έχουν δεχθεί τις μεταχειρίσεις SpSBa (ψεκασμό με NaCl+H₃BO₃ 1φ/εβδ.) και SpSBb (ψεκασμό με NaCl+H₃BO₃ 2φ/εβδ.) και μάρτυρας CDw (με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ.). Μεταξύ των SpSBa και SpSBb δεν παρατηρήθηκαν ορατά αισθητές διαφορές συμπτωμάτων παρά μόνο εμφάνιση χλώρωσης στα φυτά SpSBb, ενώ ακολουθούν τα φυτά SpSBa.



Εικόνα 9 (α): Φυτά *Salvia officinalis* που έχουν δεχθεί τις μεταχειρίσεις SpSa (ψεκασμό με NaCl 1φ/εβδ.) και SpSb (ψεκασμό με NaCl 2φ/εβδ.) (β): Φυτά *Salvia officinalis* που έχουν δεχθεί τις μεταχειρίσεις SpSBa (ψεκασμό με NaCl+H₃BO₃ 1φ/εβδ.) και SpSBb (ψεκασμό με NaCl+H₃BO₃ 2φ/εβδ.) Εντονότερες συστροφές φύλλων και περιφερειακή ξήρανση παρουσιάζουν τα δείγματα SpSb σε σχέση με τα δείγματα SpSa. Τα SpSBa και SpSBb παρουσιάζονται σε καλύτερη κατάσταση από τα προηγούμενα.



Εικόνα 10 Συνολική εμφάνιση των φυτών *Salvia officinalis* στις διάφορες μεταχειρίσεις ψεκασμού του φυλλώματος με διαλύματα υψηλής αλατότητας και μάρτυρας CDw (με ψεκασμό H₂O 2φ./εβδ.).

Σεπτέμβριος (2^η φάση ανάπτυξης)



Εικόνα 11 (α): Φυτό *Salvia officinalis* μάρτυρας CD (χωρίς ψεκασμό H₂O) (β): Λεπτομέρεια φυλλώματος του ίδιου φυτού. Το φυτό παρουσιάζεται υγιές.



Εικόνα 12 (α): Φυτό *Salvia officinalis* μάρτυρας CDw (με ψεκασμό H₂O 2φ/εβδ.) (β): Λεπτομέρεια φυλλώματος του ίδιου φυτού. Το φυτό παρουσιάζεται υγιές.



Εικόνα 13 (α): Φυτό *Salvia officinalis* που έχει δεχθεί τη μεταχείριση SpSa (ψεκάσμο με NaCl 1φ/εβδ.) (β): Λεπτομέρεια φυλλώματος του ίδιου φυτού με εμφάνιση εντονότερης χλόρωσης σε σχέση με την προηγούμενη περίοδο μέτρησης, ξήρανσης και φυλλόπτωσης.



Εικόνα 14 (α): Φυτό *Salvia officinalis* που έχει δεχθεί τη μεταχείριση SpSb (ψεκάσμο με NaCl 2φ/εβδ.) (β): Λεπτομέρεια φυλλώματος του ίδιου φυτού με έντονες συστροφές και ολική ξήρανση των κορυφαίων φύλλων-φυλλόπτωσηση. Παρατηρείται έντονη μείωση του υπέργειου μέρους του φυτού.



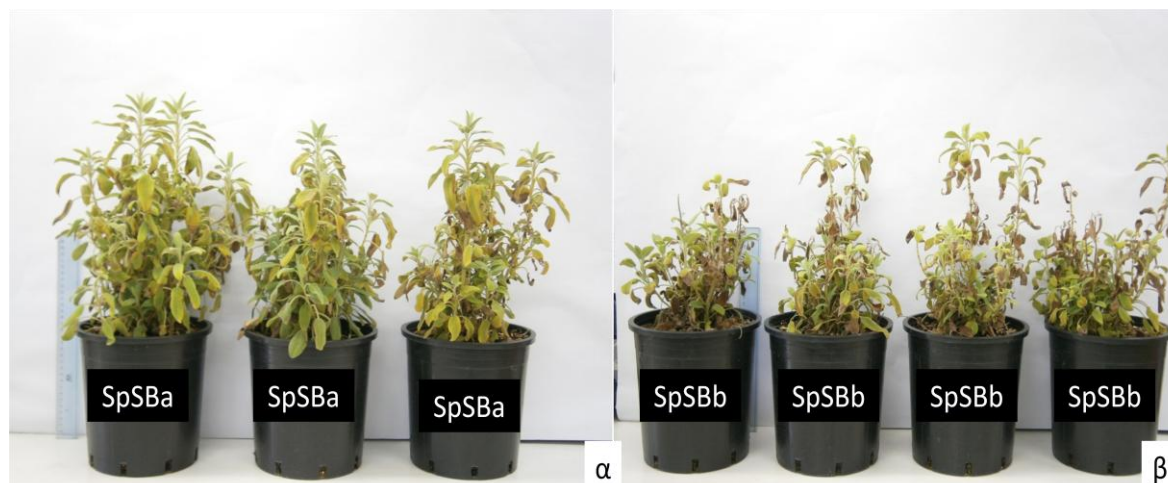
Εικόνα 15 (α): Φυτό *Salvia officinalis* που έχει δεχθεί τη μεταχείριση SpSBa (ψεκασμό με $\text{NaCl} + \text{H}_3\text{BO}_3$ 1φ/εβδ.) (β): Λεπτομέρεια φυλλώματος του ίδιου φυτού με εμφάνιση έντονης χλώρωσης και περιφερειακής ξήρανσης κάποιων φύλλων.



Εικόνα 16 (α): Φυτό *Salvia officinalis* που έχει δεχθεί τη μεταχείριση SpSBb (ψεκασμό με $\text{NaCl} + \text{H}_3\text{BO}_3$ 2φ/εβδ.) (β): Λεπτομέρεια φυλλώματος του ίδιου φυτού με εμφάνιση έντονων συστροφών σε συνδυασμό με ξήρανση των κορυφαίων φύλλων και τελικώς φυλλόπτωση. Αυτή η εξέλιξη, σε αυτή τη χρονική διάρκεια του πειράματος, πιθανόν οφείλεται στην τοξικότητα του βορίου και στην υψηλή συσσώρευσή του στα φύλλα του φυτού.



Εικόνα 17 Φυτά *Salvia officinalis* που έχουν δεχθεί τη μεταχείριση *SpSb* (ψεκασμό με NaCl 2φ/εβδ.).



Εικόνα 18 (α): Φυτά *Salvia officinalis* που έχουν δεχθεί τη μεταχείριση *SpSba* (ψεκασμό με $\text{NaCl}+\text{H}_3\text{BO}_3$ 1φ/εβδ.) (β): Φυτά *Salvia officinalis* που έχουν δεχθεί τη μεταχείριση *SpSBb* (ψεκασμό με $\text{NaCl}+\text{H}_3\text{BO}_3$ 2φ/εβδ.). Τα *SpSba* διέφεραν αισθητά ως προς τα ορατά συμπτώματα σε σχέση με αυτά που δέχθηκαν τη μεταχείριση *SpSBb*, αφού μακροσκοπικά εμφάνισαν καλύτερη κατάσταση, με χλώρωση και ξήρανση των φύλλων σε μικρότερο βαθμό.

